



TAMPEREEN TEKNILLINEN YLIOPISTO
TAMPERE UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

OLLI HARTIKAINEN
METSÄKONEEN KUNNONVALVONTA-ANTUROIDINTI JÄRJESTE-
LYINEEN

Diplomityö

Tarkastaja: professori Jari Rinkinen
Tarkastaja ja aihe hyväksytty
Teknisten tieteiden tiedekuntaneu-
voston kokouksessa 4. marraskuuta
2015

TIIVISTELMÄ

OLLI HARTIKAINEN: Metsäkoneen kunnonvalvonta-anturointi järjestelyineen
Tampereen teknillinen yliopisto
Diplomityö, 69 sivua, 8 liitesivua
Joulukuu 2015
Konetekniikan diplomi-insinöörin tutkinto-ohjelma
Pääaine: Hydraulikka ja automatiikka, hydraulitekniikka
Tarkastaja: professori Jari Rinkinen

Avainsanat: anturi, metsäkone, vikaantuminen, kunnonvalvonta

Monimutkaisessa koneessa on useita komponentteja ja vikaantumiskohteita. Kaikilla näillä komponenteilla on oma vikaantumistodennäköisyys, jonka perusteella voidaan arvioida komponenttien elinkaarta. Vikaantumistodennäköisyyteen vaikuttaa kuitenkin käyttöolosuhteet. Raskaassa käytössä ja haastavassa ympäristössä oleva komponentti vikaantuu todennäköisesti aikaisemmin kuin kevyellä käytöllä ja ihanneolosuhteissa käytettävä komponentti.

Metsäkoneita käytetään monenlaisissa olosuhteissa. Vaihtelevissa olosuhteissa vikaantumistodennäköisyydet muuttuvat paljon komponenttien välillä. Tämän vuoksi on hyvin vaikeaa määrittää metsäkoneen komponenteille todennäköistä vikaantumisaikaa. Metsäkoneen huollon tarpeen ja komponenttien vikaantumisaajan arvioimiseen tarvitaan luotettavampi menetelmä. Tämän työn tarkoitus on esitellä mahdollisuuksia siihen.

Työssä perehdytään antureihin, joilla voidaan mitata metsäkoneen komponenttien toimintaa. Myöhemmin pohditaan, millaisilla antureilla metsäkoneen komponentteja tulisi mitata, jotta järjestelmistä saataisiin mahdollisimman paljon hyödyllistä tietoa mahdollisimman vähillä antureilla. Työssä pohditaan myös anturittomia vaihtoehtoja havaita toiminnan muutoksia komponenteissa. Työssä tuodaan esille myös tiedon käsittelyä varten muutamia tapoja, joiden avulla voidaan vikaantuminen saada selville ilman raskaita laskutoimituksia.

Työn tuloksena esitetään ratkaisu metsäkoneen työskentelyn kannalta tärkeiden järjestelmien kunnon ja vikaantumisen seurantaan. Seurantajärjestelmän lisäksi työn tuloksena kehitetään huoltomiehelle laitteisto ja ohje, jonka avulla vikaantunut komponentti on helppo paikantaa.

ABSTRACT

OLLI HARTIKAINEN: Sensors and Setup for Condition Monitoring of Forest Machine

Tampere University of Technology

Master of Science Thesis, 69 pages, 8 Appendix pages

December 2015

Master's Degree Programme in Mechanical Engineering

Major: Fluid Power

Examiner: Professor Jari Rinkinen

Keywords: sensors, forest machine, faults, condition monitoring

Complicated machine includes multiple fault sensitive components. All of these components has own time to failure. With component's time to failure the lifespan of component can be estimated. Environment affects to time to failure. In heavy use in harsh environment, time to failure is shorter than in light use in ideal environment.

Forest machines are used in all kind of environments. Cause time to failure changes in different environments components lifespan is difficult to estimate without any measurements from component. The right repair and service times are impossible to estimate. There is a need for measure machines to make repairs before fault prevents machine to work. This thesis introduces ideas to do this.

In this thesis sensors are introduced for measuring condition of forest machine components. Later is pondered what kind of sensor and what is needed to measure to make good estimation from machine condition. There is also sensorless possibilities to measure systems condition. Handling and saving the measurement data in easy-to-handle -form is one topic in this thesis.

In result of thesis is introduced condition monitoring system for each critical system of forest machine. Besides condition monitoring there is introduced a sensor kit and guides to service man to investigate faults in forest machine.

ALKUSANAT

Tämä diplomityö käsittelee Ponsse Oyj:n huollon tarpeisiin suunniteltua anturointijärjestelmään, jolla pyritään havaitsemaan vikoja ennen kuin ne ovat edenneet niin pitkälle, että estävät koneen toiminnan.

Haluan kiittää Ponsse Oyj:tä työn tarjoamisesta. Kiitän myös työkavereita, erityisesti heidän kanssaan pelatuista laistokatkopeleistä.

Esitän erityiskiitokset vanhemmilleni. Vanhemmille, sisarille sekä sukulaisille, jotka jakoivat taistella puolestani, kun itse en voinut.

Lisäksi haluan esittää kiitokset Kuopion yliopistolliselle sairaalan neurologiselle osastolle, Suomen Aivotutkimus- ja kuntoutuskeskus Neuronille ja YTHS-Hervantaa heidän tekemästään erinomaisesta työstä minun kuntoutuksessa ja hoitamisessa. Ilman heitä tämän työn tekeminen ei olisi ollut mahdollista.

Kiitoksia kavereille, jotka ovat olleet tukenani yliopisto opiskeluissa. Erityisesti kiitän Jyrki Övermarkia ja Savon Mafian ystäviä, Ville Kukkosta, Henri Tainiota, Ari-Matti Jänttiä, Tero Äijäläistä, Osku Keihästä, Joni Tattaria ja Jani-Matti Salmelaa.

Kiitos myös Kavitaation väelle, erityisesti Lasselle Välimäelle, Villeille; ”Ässä” Suhoselle ja ”Ämmä” Männistölle, sekä Timoille, Toloselle ja Nordforssille, hyvistä XQ:ista ja kokemuksista. Pidetään lippukorkealla ja toiminta aktiivisena!

Mainittakoon erikseen, että Antti P. O. ”Ose” Kosonen saa myös kiitokset.

Tampereella, 27.12.2015

Olli Hartikainen

SISÄLLYSLUETTELO

1.	JOHDANTO	1
2.	METSÄKONEEN KUNTO JA VIAT	4
2.1	Komponenttien kunto	4
2.1.1	Vaihteistojen kunto	5
2.1.2	Hydraulisylinterin hyötysuhde ja kunto	6
2.1.3	Venttiilin kunto	7
2.1.4	Hydraulipumpun hyötysuhde ja kunto	8
2.1.5	Moottorin hyötysuhde ja kunto	12
2.1.6	Jäähdyttimen kunto	13
2.2	Komponenttien vikoja	14
2.2.1	Viat pumpuissa ja moottoreissa	14
2.2.2	Viat sylintereissä	14
2.2.3	Viat venttiileissä	15
2.2.4	Viat mekaanisissa osissa	15
2.2.5	Viat sähkölaitteissa	16
2.2.6	Viat ohjelmistossa	16
2.2.7	Viat diesel-moottorissa	16
3.	TOIMINTA-ARVOJEN MÄÄRITTÄMINEN JA SEURANTA	17
3.1	Aallokemuunnosmenetelmä	17
3.2	Monimuuttuja diagrammi -menetelmä	17
3.3	Seurattavat järjestelmät	21
3.3.1	Jäähdytysjärjestelmä	21
3.3.2	Ajovoimansiirron hydraulinen ja mekaaninen järjestelmä	22
3.3.3	Harvesteripään hydraulijärjestelmä	23
3.3.4	Nosturin hydraulijärjestelmä	24
3.3.5	Jarrujärjestelmä	26
4.	MITTALAITTEISTO JA ANTURIT	28
4.1	Käytössä olevat mittauslaitteistot	28
4.1.1	Mittauslaite – Parker ServiceMaster	28
4.1.2	Mittauslaite – Hydrotechnik MultiSystem 5060	30
4.2	Anturit ja muuntimet	30
4.2.1	CAN-WLAN -moduuli	30
4.2.2	Paineanturi	32
4.2.3	Lämpötila-anturi	34
4.2.4	Tilavuusvirta-anturi	36
4.2.5	Pyörimisnopeusanturi	37
4.2.6	Metallipartikkelianturi	37
4.2.7	Kiihtyvyyssanturi	38
4.2.8	Virran mittaaminen	39

4.3	Metsäkoneeseen asennettavat seuranta-anturit.....	40
4.3.1	Luotavat moni—muuttuja diagrammit.....	42
4.4	Huoltomiehen asentamat anturit.....	44
5.	VIAN PAIKANTAMISEN MITTAUSJÄRJESTELYT	46
5.1	Vika jäähdytysjärjestelmässä	48
5.1.1	Antureiden asennuspaikat jäähdytysjärjestelmässä	49
5.1.2	Jäähdytysjärjestelmän mittausten tulkinta	50
5.2	Vika ajovoimansiirrossa	52
5.2.1	Antureiden asennuspaikat ajovoimansiirrossa	52
5.2.2	Ajovoimansiirron mittausten tulkinta	52
5.3	Vika harvesteripäässä	54
5.3.1	Antureiden asennuspaikat harvesteripäässä	55
5.3.2	Harvesteripään mittausten tulkinta.....	55
5.4	Vika nosturissa	56
5.4.1	Antureiden asennuspaikat nosturissa	57
5.4.2	Nosturin mittausten tulkinta.....	57
5.5	Vika jarrujärjestelmässä	58
5.5.1	Antureiden asennuspaikat jarrujärjestelmässä	59
5.5.2	Jarrujärjestelmän mittausten tulkinta	59
6.	MITTALAITTEISTOJEN VERTAILU	61
6.1	Kiinteästi asennetut anturit.....	61
6.2	Huoltomiehen asentama antuointilaitteisto.....	62
7.	JOHTOPÄÄTÖKSET	65
	LÄHTEET.....	67
	LIITE A: SCORPION HYDRAULIKAAVIO	70
	LIITE B: H7-HARVESTERIPÄÄ HYDRAULIKAAVIO	76

KUVALUETTELO

Kuva 1.	<i>Rengasrako [2]</i>	<i>8</i>
Kuva 2.	<i>Pumpun hyötysuhteiden riippuminen paine-erosta [2]</i>	<i>10</i>
Kuva 3.	<i>Pumpun hyötysuhteiden riippuvuus pyörimisnopeuksista [2][1]</i>	<i>11</i>
Kuva 4.	<i>Säätötilavuuspumpun kierrostilavuuden vaikutus hyötysuhteisiin [2]</i>	<i>11</i>
Kuva 5.	<i>Tampereen lämpötilat vuonna 2012 [6]</i>	<i>18</i>
Kuva 6.	<i>Tampereen 2012 Tammikuun lämpötila-jakauma [6]</i>	<i>18</i>
Kuva 7.	<i>MVH paljastaa toiminnan poikkeavuuden pumpun vinolevyn kulmassa.[6]</i>	<i>20</i>
Kuva 8.	<i>Viikoittain laskettujen kaivinkoneen venttiilien ohjausvirtojen keskiarvot kolmelle liikkeelle. [5]</i>	<i>26</i>
Kuva 9.	<i>LVDT-käämitys[13]</i>	<i>33</i>
Kuva 10.	<i>Optisen anturin kohteen ja mittausalueen koko [23]</i>	<i>36</i>
Kuva 11.	<i>Boschin kapasitiivisen kiihtyvyysanturin toimintaperiaate [25]</i>	<i>38</i>
Kuva 12.	<i>Virranmittaukseen soveltuva vastuskytkentä</i>	<i>39</i>
Kuva 13.	<i>Hall-virtamittarin rakenne [27]</i>	<i>40</i>
Kuva 14.	<i>Hall-anturin toimintaperiaate [27]</i>	<i>40</i>
Kuva 15.	<i>Jäähdytysjärjestelmän vikapuu</i>	<i>51</i>
Kuva 16.	<i>Ajovoimansiirron vikapuu</i>	<i>54</i>
Kuva 17.	<i>Harvesteripään vikapuu.</i>	<i>56</i>
Kuva 18.	<i>Nosturin vikapuu</i>	<i>58</i>
Kuva 19.	<i>Jarrujärjestelmän vikapuu.....</i>	<i>60</i>
Kuva 20.	<i>Ajovoimansiirron kiinteällä anturoinnilla selvittettävät viat</i>	<i>62</i>

LYHENTEET JA MERKINNÄT

Ain	Analoginen sisääntulo (Analog input)
CAN	Control Area Network
Din	Digitaalinen sisääntulo (digital input)
Dout	Digitaalinen ulostulo (digital output)
FS	Koko mittausalue (Full Scale)
ID	tunniste (Identifier)
LAN	Local Area Network
LS	kuorman tunteva järjestelmä (Load Sensing)
LVDT	Linear Variable Differential Transformer
MVH	moni-muuttuja diagrammi (Multi-Variable Histogram)
WLAN	Wireless Local Area Network
<i>A</i>	Pinta-ala
<i>B_θ</i>	Jäähdytyskyky
<i>b</i>	kosketusalueen puolikkaan leveys
<i>C_q</i>	virtauskerroin
<i>C_U</i>	lämmönläpäisyluku
<i>d</i>	männän halkaisija
<i>e</i>	raon epäkeskisyys
<i>h</i>	raon leveys
<i>K</i>	aikavakio MVH vanhenemisessa
<i>l</i>	raon pituus
<i>P</i>	teho
<i>p</i>	paine
<i>Q</i>	sylinterin tilavuusvirta
<i>q_v</i>	hydraulimoottorin tai –pumpun tilavuusvirta
<i>q_{vuoto}</i>	vuodon tilavuusvirta
<i>T</i>	momentti
<i>V_k</i>	hydraulimoottorin tai –pumpun kierrostilavuus
<i>V_{rad}</i>	radiaanikierrostilavuus
<i>v</i>	liikenopeus
<i>z</i>	leikkausjännityksen syvyys
<i>z_{MVH}</i>	MVH:n arvon todennäköisyyskerroin
<i>ε_{high}</i>	MVH:n toleranssin yläraja
<i>ε_{low}</i>	MVH:n toleranssin alaraja
<i>Δp</i>	paine-ero
<i>η</i>	dynaaminen viskositeetti
<i>η_{hm}</i>	hydromekaaninen hyötysuhde
<i>η_t</i>	kokonaishyötysuhde
<i>η_v</i>	volumetrinen hyötysuhde
<i>μ_d</i>	MVH:n hajonnan keskiarvo
<i>ρ</i>	öljyn tiheys
<i>σ</i>	MVH:n hajonta
<i>ω</i>	kulmanopeus

1. JOHDANTO

Ihminen on käyttänyt puuta polttamiseen ja lämmittämiseen, myöhemmin myös esineiden ja asioiden valmistamiseen. Näin ihmisille on syntynyt tarve korjata puuta metsästä mahdollisimman tehokkaasti. 1950-luvulla puuta kaadettiin pokasahalla ja kirveellä. Sopivaan mittaan katkotut puut kuljetettiin hevosilla teiden varsiin pinoihin, josta ne lastattiin autoihin ja kuljetettiin tehtaille. Puiden käsittely tapahtui hyvin pitkälti miesvoimin. Työ oli raskasta ja aikaa vievää. Koneita alkoi hakkuille ilmestyä vasta vuosikymmenen lopulla.

Tekniikan kehittyessä myös metsäkoneiden kehitys alkoi 1960-luvun alussa. Kuitenkaan tuonaikaisista koneista mikään ei ollut Einari Vidgrénin mieleen. Koneet särkyivät liian usein ja työskentely ei ollut riittävän tehokasta ja kannattavaa. Vuonna 1970 Einari päättikin tehdä itse paremman metsäkoneen.

Ensimmäinen protokone valmistuikin keväällä 1971. Protokone, Dino, tekikin vaikutuksen ensimmäiseen asiakkaaseen ja hän tilasi yhden metsätraktorin. Ensimmäinen myyty Ponsse-metsätraktori toimitettiin syksyllä 1971. Siitä lähtien Ponsse on kehittänyt ja myynyt kuormatraktoreita. [1]

Vuonna 1986 Ponsse kehitti harvesteripään helpottamaan ja nopeuttamaan puun korjuuta, koska tuolloin ei markkinoilta löytynyt sellaista valmiina. Harvesteripäähän sisältyi mittalaitteet, joiden avulla puusta saatiin halkaisija ja pituusmitta. Uudenlainen harvesteripää helpotti ja nopeutti puun korjuuta. [1]

Niistä ajoista lähtien metsäkoneet ovat kehittyneet yhä monimutkaisemmiksi ja tehokkaammiksi. Ne voidaan jaotella kahteen ryhmään; hakkuukoneisiin eli harvestereihin ja ajokoneisiin eli kuormatraktoreihin. Harvesteri ja kuormatraktori muodostavat yhdessä hakkuuketjun, jossa harvesteri kaataa ja katkoo puut. Kuormatraktori kuljettaa ne tien varteen laaniin.

Vaikka kummallakin koneella on omat tehtävänsä ja ne ovat niitä varten suunniteltuja, ei niiden tekniikka eroa paljon toisistaan. Molemmissa on hydraulinen ajovoimansiirto, nosturi ja jäähdytysjärjestelmä. Lisäksi niissä on lähes identtiset jarrupiirit. Kaikki nämä järjestelmät ovat toimintaperiaatteeltaan samankaltaisia. Käytännössä vain komponenttien koossa on eroja eri konemallien välillä. Tästä johtuen eri koneiden toimintaa voidaan seurata samalla tavoin.

Vika on koneen, laitteen tai komponentin toimintatilanne, jossa se ei toimi toivotulla tavalla. Kun järjestelmään syntyy vika, se ei enää pysty toimimaan oikein; toiminta muuttuu

tai ei saavuta täysin sille suunniteltua toimintaa. Näin vika voi estää koneen toiminnan kokonaan. Vikaantumisen aiheuttama koneen toimintakyvyttömyys onkin hyvä pyrkiä minimoimaan. Tämä edellyttää oikein suoritettuja huoltoja ja vikatilanteessa vian mahdollisimman nopeaa paikantamista ja korjaamista. Huolloksi voidaan määritellä ennakoon vaihdettu pian vikaantuva osa.

Vian syitä voi olla useita. Esimerkiksi suunnitteluvirhe voi johtaa tilanteeseen, jossa kone ei edes voi toimia oikein. Virheellinen mekaaninen rakenne tai väärin mitoitettu komponentti voivat aiheuttaa tilanteita, jolloin kone ei voi toimia oikein tai vikaantuu ylikuormitettaessa.

Vikaantumisen syynä voi olla myös virheellinen käyttö. Koneita käytetään liian suurella kuormituksella tai koneen huoltaminen on ollut puutteellista. Liian suuret kuormitukset voivat aiheuttaa koneen komponenteille ylikuormittumisen, joka voi johtaa komponentin mekaaniseen vaurioon. Puutteellinen huolto aiheuttaa koneen suunniteltua nopeamman kulumisen, jolloin sen toimintakyky heikkenee.

Koneen eri komponentit ja osat kuluvat ja vanhenevat eri nopeudella. Koko koneen pitkän käyttöiän kannalta on hyödyllistä vaihtaa nopeammin kuluvia komponentteja uusiin. Sopivaa vaihto-aikaa on kuitenkin vaikea määrittellä, koska komponentin käyttöikä ei voida tarkasti tietää. Pitämällä kirjaa komponenttien käyttöiästä voidaan laskea todennäköisyys sille, milloin komponentti tulisi vaihtaa uuteen ennen sen vikaantumista.

Tilastollinen todennäköisyys pitää paikkansa vain tilastoja vastaavien komponenttien kohdalla ja vastaavanlaisissa kuormitustilanteissa. Jos kuormitus muuttuu radikaalisti raskaammaksi, muuttuu komponentin odotettavissa oleva käyttöikä huomattavasti lyhyemmäksi kuin kevyesti kuormitetun.

Tässä työssä esitellään Ponsse-metsäkoneita varten suunniteltua anturointia ja tiedonkeruumenetelmiä vikaantuvien ja vikaantuneiden komponenttien löytämiseksi. Anturointi tulee olla helposti asennettavissa ja sovellettavissa eri metsäkonemalleihin. Lisäksi sen avulla vikojen löytymisen tulee olla nopeaa ja helppoa. Anturointia voidaan hyödyntää myös tutkittaessa komponenttien sopivaa vaihtoajankohtaa koneisiin, joissa anturointia ei ole. Myös mahdollisesti viallisen komponentin etsiminen monimutkaisesta järjestelmästä sisältyy työhön.

Työn aluksi luvussa 2 esitellään teoriaa, johon komponentin vikaantumisen havaitseminen perustuu. Luvussa rajataan myös käsiteltäviä järjestelmiä sen perusteella, miten järjestelmät toimivat ja kuinka niiden vikaantumista voidaan seurata.

Luvussa 3 esitellään seurannassa käytettävät menetelmät ja mitä järjestelmiä kullakin menetelmällä voidaan seurata. Menetelminä käytetään aallokemuunnos- ja moni-muuttuja diagrammi -menetelmää. Yhtenä menetelmänä käytetään myös keskiarvon seuraamista tietyn aikajakson sisällä.

Luvussa 4 käydään läpi, mistä ja miten saadaan mittaustuloksia tarkasteltavista järjestelmistä. Luvussa kerrotaan, millaisilla antureilla ja miten tulee mitata, jotta saadaan mahdollisimman hyviä tuloksia. Luvussa esitellään myös markkinoilla olevien antureiden toimintaperiaatteita ja niiden eroja.

Luvussa 5 käsitellään mahdollisia vikatilanteita. Kuinka toimia vikatilanteen ilmetessä, miten saadaan lisää tietoa koneen toiminnasta ja kuinka näitä mittauksia tulisi tulkita. Luvussa esitetään myös ohjeita, kuinka toimia tietynlaisen mittaustuloksen seurauksena.

Työn luvussa 6 pohditaan uuden ja vanhan laitteiston hyviä ja huonoja puolia. Tuodaan esille uuden laitteiston etuja ja mahdollisuuksia. Siinä esitetään myös mahdollisia haasteita.

Lopuksi luvussa 7 tehdään johtopäätökset ja yhteenveto työstä. Tarkastellaan työn tuloksia ja saavutuksia. Lisäksi pohditaan, kannattaako uusi mittauslaitteisto ottaa käyttöön.

2. METSÄKONEEN KUNTO JA VIAT

Nykypäivän metsäkoneet sisältävät paljon tekniikkaa. Konetta liikuttaa hydraulinen ajovoimansiirto ja työliikkeistä huolehtii hydraulikomponentit; pumput, venttiilit, sylinterit ja moottorit. Kaikille koneen liikkeille tuotetaan teho dieselmoottorilla.

Komponentit eivät kuitenkaan pysty hyödyntämään kaikkea diesel-moottorilta saamaansa tehoa työn tekemiseen, vaan kullakin komponentilla on oma hyötysuhteensa kussakin toimintapisteessä. Vain tämän tietyn hyötysuhteen verran komponentille syötetystä tehosta saadaan hyötykäyttöön. Hyödyntämättömästä osasta suurin osa lämmittää järjestelmää. Järjestelmän lämpenemisen vuoksi koneessa tarvitaan jäähdytintä.

Hydraulijärjestelmässä lämpenemistä aiheuttaa nesteen virtausvastus. Suurin lämpenemiseen vaikuttava nesteen ominaisuus on dynaaminen viskositeetti. Mitä suurempi viskositeetti on, sitä enemmän neste vastustaa virtausta ja lämpenee pakotetussa liikkeessä. Öljyn lämpötilan noustessa, myös sen viskositeetti pienenee, minkä seurauksena kitkat vähenevät ja lämpeneminen vähenee. [2]

Tässä luvussa kerrotaan komponentin hyötysuhteeseen ja kuntoon vaikuttavista tekijöistä. Komponenttien vioista kerrotaan luvun lopussa. Samalla rajataan metsäkoneesta tässä työssä tarkasteltavia komponentteja ja järjestelmiä.

2.1 Komponenttien kunto

Metsäkoneen liikkeet ovat pääasiassa toteutettu hydraulisilla toimilaitteilla. Hydraulijärjestelmiä on useita. Tärkeimmät niistä ovat jäähdytys-, ajovoimansiirron hydraulinen, nosturin hydraulinen, harvesteripään hydraulinen ja jarrujärjestelmä. Pääkomponentit näissä järjestelmissä ovat hydraulipumppuja, -moottoreita, -sylintereitä ja -venttiileitä.

Kunkin komponentin hyötysuhteen muutoksesta voidaan päätellä sen kunnontaso. Mitä parempi hyötysuhde, sitä paremmassa kunnossa komponentti on. Pumpuille, moottoreille ja sylintereille määritellään hyötysuhteet. Venttiilin hyötysuhdetta voidaan kuvata virtauskertoimella. Hyötysuhteen tai virtauskertoimen muuttuminen huonompaan suuntaan kertoo komponentin heikentyneestä toimintakyvystä. Jos heikkeneminen tapahtuu lyhyellä ajalla, indikoi se vikaa.

Hydraulikomponenttien osien välissä on aina pieni välys, johon öljystä syntyy ohut voiteluva kalvo. Voitelukalvo pienentää osien välistä kitkaa ja vähentää kulumista. Sopivan voitelukalvon paksuus riippuu osien pinnankarheudesta. Karheampi pinta vaatii paksumman kalvon, jotteivät korkeammat pinnankarheushuiput pääse kosketuksiin vastinpinnan

kanssa. Välyksen ollessa suuri pääsee siitä virtaamaan enemmän öljyä. Tästä johtuen hydraulikomponenttien osat pyritään koneistamaan pinnanlaadullisesti mahdollisimman tarkasti.

Joidenkin osien välissä käytetään tiivistintä, jolloin koneistaminen ei ole niin tarkkaa. Tällainen vällys on esimerkiksi männän ja sylinteriputken välissä. Moottorin tai pumpun sylinteriryhmän ja liukurenkaan välissä ei ole tiivistintä rakenteesta johtuen, vaan pinnat ovat koneistettu tarkasti.

Osien välisen välyksen suuruus vaikuttaa hydromekaaniseen ja volumetriseen hyötysuhteeseen. Liian suuri vällys lisää vuotoja ja alentaa volumetristä hyötysuhdetta. Liian pieni vällys taas lisää kitkaa ja alentaa näin hydromekaanista hyötysuhdetta.

2.1.1 Vaihteistojen kunto

Metsäkoneen vaihteistot perustuvat hammaspyörien pyörimiseen ja hampaiden välisiin kontakteihin. Jos hammaspyörät ovat ideaaliset, niiden välinen kontakti tulisi olla vierivä. Kontaktissa ei tulisi esiintyä ollenkaan liukumista pintojen välillä. Näin ei kuitenkaan ole. Käytössä akseleiden laakerointi kuluu ja muuttaa akseliväliä. Tällöin myös hammaskosketus muuttuu ja liukumista alkaa esiintyä.

Vierivien pintojen kontakti voi aiheuttaa materiaalille väsymiskulumista. Se poikkeaa muista kulumismekanismeista siinä, että pinnassa ei tapahdu näkyvää deformaatiota ennen hiukkasten irtoamista.

Pintapaineesta johtuen materiaalin sisälle syntyy erisuuntaisia jännityksiä. Puristusjännityksen komponentit eivät vaikuta pinnan väsymiseen niin paljon kuin leikkausjännitys. Deformaation aiheuttaa materiaalin sisällä muuttuva leikkausjännitys. Leikkausjännitys pyrkii liikuttamaan materiaalin partikkeleita sivusuunnassa toisiinsa nähden. Suurimman leikkausjännityksen syvyys riippuu kosketuspinnan suuruudesta.

Toistensa yli ilman voitelua vierivien kappaleiden pintajännityksiin voi käyttää Hertzin pintapaineteoriaa. Tämän mukaan suurin leikkausjännityssyvyys z [m] voidaan laskea kaavan (1) [3] mukaan

$$z = 0,78 \cdot b \quad (1)$$

jossa b on kosketusalueen puolikkaan leveys [m]. Leikkausjännitys on suuruudeltaan noin kolmasosa Hertzin maksimipaineesta. [3]

Kun pintojen välissä on voitelukalvo, on kyseessä elastohydrodynaaminen tilanne. Tällöin pintapaine nousee loivemmin liikesuunnan reunassa. Ulostuloreunaan syntyy paine-piikki. Tällainen tilanne kasvattaa leikkausjännityksen komponenttia 20 %:lla ja se siirtyy kappaleen pintaa kohti, noin $z=0,055 \cdot b$ syvyyteen. [3]

Pintapaineesta johtuva leikkausjännitys muokkaa materiaalia pinnan alla. Toistuva muokautuminen muodostaa materiaaliin eri kovuisia kerroksia. Kerrokset eivät ole vahvasti kiinni toisissaan ja voivat irrota. Väsymiskulumisessa pinnasta voikin lohjeta suuria liuskamaisia palasia.

Jos hammaspyörän hampaat pääsevät liukumaan toistensa suhteen, voivat ne kulua myös adhesiivisesti tai abrasiivisesti. Näissä kulumismekanismeissa materiaalista irtoaa pienempiä hiukkasia.

Adhesiivinen kulumisen johtuu pinnankarheushuippujen kosketuksista vastinpintaan. Pinnankarheushuippuja jää kappaleen pintaan materiaalin työstämisen jäljiltä. Pinnan työstämistarkkuudesta riippuen pinnalla voi olla hyvinkin suuria korkeuseroja. Mitä siileämmäksi pinta työstetään, sitä matalampia huiput ovat ja sitä vähemmän kulumista tapahtuu. [3]

Adhesiivisessa kulumisessa pinnankarheushuiput takertuvat hetkittäin toisiinsa. Voiman ja liikkeen vaikutuksesta liitos repeää hyvin nopeasti. Jos repeämäkohta on alkuperäisen pinnan rajapinnasta, ei pinnoista irtoa kulumispartikkeleita. Jos kuitenkin repeäminen tapahtuu muualta, on lopputuloksena usein muokkauslujittunut kulumispartikkeli. Nämä partikkelit lisäävät pintojen abrasiivista kulumista. Irtopartikkelit tulisivat pyrkiä poistamaan pintojen välistä mahdollisimman nopeasti abrasiivisen kulumisen ehkäisemiseksi. [3]

Abrasiivisessa kulumisessa pinnankarheushuiput tai pintaa kovemmat partikkelit kyntävät, leikkaavat tai hauraasti murtavat pintoja. Kyntämisen seurauksena pintaan syntyy uria. Kun uria muodostuu toistuvasti tai lähekkäin samalle alueelle, voi pinnasta irrota hiukkasia. [3]

Jos järjestelmää käytetään oikealla kuormituksella ja puhdistetaan epäpuhtauksista, kulumisen hidastuu pinnankarheushuippujen vähentyessä. Jos järjestelmää ei puhdisteta ja kuormitetaan liian suurilla voimilla, kulumisen etenee kiihtyvällä vauhdilla, likapartikkeleiden jäädessä pintojen väliin. Oikealla huollolla onkin erityisen suuri merkitys kulumisen ehkäisemiseksi.

2.1.2 Hydraulisylinterin hyötysuhde ja kunto

Sylinteri on yksinkertainen lineaariliikkeen komponentti. Se sisältää sylinteriputken, männän, varren sekä tiivistimet. Sylinterin toiminta voi heiketä sisäisen vuodon tai kitkan lisääntymisen seurauksena. Käytön aikaisella sylinterin toiminnan seuraamisella ei välttämättä saada selville sylinterin kuntoa, koska sylinteriä kuormitetaan hyvin erisuuruisilla voimilla ja sykleillä.

Hydromekaaninen hyötysuhde määrittää, kuinka suuren osan nesteen paineen synnyttämästä voimasta saadaan käyttöön sylinterin antamana voimana. Kaavassa (2) [2] on esitetty, miten sylinterin antama voima F [N] lasketaan.

$$F = \eta_{hm} \cdot (p_{tulo} \cdot A_{tulo} - p_{lähtö} \cdot A_{lähtö}), \quad (2)$$

jossa η_{hm} on sylinterin hydromekaaninen hyötysuhde [], p on sylinterin kammio-paine [Pa] ja A on männän pinta-ala [m^2], johon edellä mainittu kammiopaine vaikuttaa.

Hydromekaaninen hyötysuhde huomioi häviöt, jotka syntyvät öljyn sisään- ja ulosvirtauksesta johtuvasta painehäviöstä sekä tiivistimistä johtuvista kitkavoimista. Sylinterin hydromekaaninen hyötysuhde on 0,80...0,96 välillä tiivistintyyppistä riippuen.

Kaavasta (2) nähdään miten sylinteri käyttäytyy hydromekaanisen hyötysuhteen muuttuessa. Sen aletessa sylinteristä saatava voima pienenee paineiden ja alojen pysyessä vakiona. Myös sylinterin maksimivoima jää tällöin pienemmäksi, kun käytetään maksimipainetta.

Sylinterin volumetrinen hyötysuhde kertoo, kuinka suuri osa tilavuusvirrasta saadaan sylinterin liikkeeseen. Hyötysuhde muodostuu tiivistimien ja välysten vuodoista. Kun tiivistimet ovat hyvässä kunnossa, hyötysuhde on hyvin lähellä yhtä. Kaavassa (3) [2] on esitetty sylinterin nopeuden v [m/s] lauseke

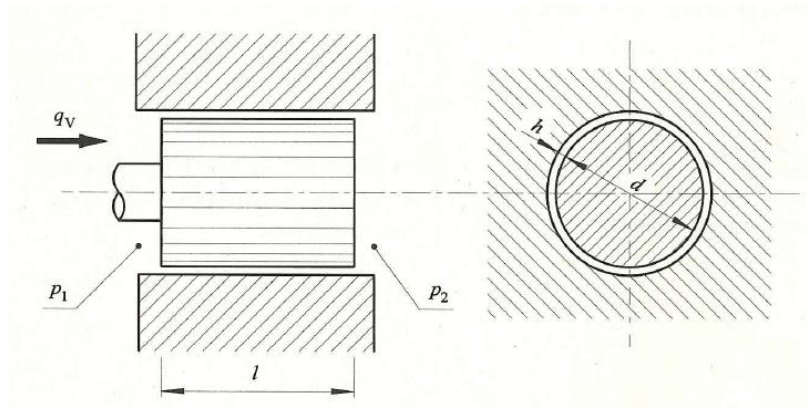
$$v = \frac{\eta_v \cdot Q}{A}, \quad (3)$$

jossa Q on sylinteriin tuleva tilavuusvirta [m^3/s], η_v on sylinterin volumetrinen hyötysuhde [] ja A on sylinterin kammion männän pinta-ala [m^2], johon tilavuusvirtaa tuodaan. Kaavasta (3) nähdään kuinka sylinterin nopeus pienenee hyötysuhteen aletessa.

Sylinterin volumetrinen hyötysuhde voi käytännössä alentua vain, kun sylinterin sisäinen tai ulkoinen vuoto lisääntyy. Se lisääntyy käytännössä vain tiivistimien kunnan heikentyessä.

2.1.3 Venttiilin kunto

Venttiilit ohjaavat nesteen virtausta järjestelmässä. Metsäkoneessa on monenlaisia eri venttiileitä. Käytössä on luisti- ja patruunaventtiileitä, joko suoraan tai esiohjattuna. Patruunaventtiilit ovat vuodottomia niiden karan sulkeutuessa istukkaa vasten. Tällöin virtauskanava sulkeutuu täysin. Luistiventtiileissä kara liikkuu venttiilin rungon tai holkin reiässä. Liikettä varten osien välissä on pieni rako, joka on tyypillisesti 3-15 μm . Raosta virtaa pieni rakovirtaus karan kammioiden välillä korkeammasta paineesta matalampaan. Rakovirtauksen suuruus voidaan laskea kuvan 1 ja kaavan (8) avulla



Kuva 1. Rengasrako. [2]

Raosta pääsee virtaamaan rakovirtaus q_v [m³/s] korkeammasta paineesta alhaisempaan paineeseen kaavan (4) [2] mukaan

$$q_v = \frac{\pi \cdot d \cdot h^3}{12 \cdot \eta \cdot l} \left(1 + 1,5 \cdot \left(\frac{e}{h} \right)^2 \right) \cdot (p_1 - p_2), \quad (4)$$

jossa d on männän halkaisija [m], h on raon leveys [m], e on raon epäkeskeisyys [m], η on nesteen dynaaminen viskositeetti [Pa · s], l on raon pituus [m] ja p_1 ja p_2 ovat paineita [Pa] raon kummallakin puolella.

Venttiilin läpi virtaavan nesteen määrä riippuu venttiilin läpäisykyvystä ja avauksesta. Venttiili toimii käytännössä kuristimena, joka päästää vain halutun määrän nestettä lävitse. Kuristuksen läpi virtaavan nesteen määrä q_v [m³/s] voidaan laskea kaavalla (5) [2]

$$q_v = C_q \cdot A \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot \Delta p}{\rho}}, \quad (5)$$

jossa C_q on virtauskerroin [], A on kuristuksen virtauspoikkipinta-ala [m²], Δp on venttiilin yli oleva paine-ero [Pa] ja ρ on nesteen tiheys [kg/m³]. Kaavaa voidaan käyttää myös venttiilin läpäisevän virtauksen laskentaan, kun kaava kerrotaan venttiilin avausprosentilla.

2.1.4 Hydraulipumpun hyötysuhde ja kunto

Hydraulipumppu tuottaa järjestelmään tilavuusvirtaa. Kun se ei pääse virtaamaan vapaasti, nousee järjestelmän paine. Metsäkoneissa diesel-moottori pyörittää pumppua mahdollisimman tasaisella pyörimisnopeudella ja tarvittavalla momentilla. Pumpulla pyörimisnopeus ja momentti muutetaan tilavuusvirraksi ja paineeksi. Pumpun tarvitsema teho P [W] lasketaan kaavan (6) [2] mukaan

$$P = T \cdot \omega = \frac{\Delta p \cdot q_v}{\eta_t}, \quad (6)$$

jossa T on pumpun vaatima momentti [$\text{N} \cdot \text{m}$], ω on kulmanopeus [rad/s], Δp on paine-ero pumpun yli [Pa], q_v on pumpun tuottama tilavuusvirta [m^3/s] ja η_t on pumpun kokonaishyötysuhde []. Kokonaishyötysuhde lasketaan kaavan (7) mukaan

$$\eta_t = \eta_v \cdot \eta_{hm}, \quad (7)$$

jossa η_v on volumetrinen hyötysuhde [] ja η_{hm} on hydromekaaninen hyötysuhde []. Volumetrinen hyötysuhde kuvaa, kuinka suuri tilavuusvirta saadaan pyörimisnopeudesta. Hydromekaanisella hyötysuhteella kuvataan momentista paineen luomiseen menevän osan suuruutta.

Pumpun vaatima käyttömomentti ja pyörimisnopeus voidaan laskea myös erikseen paine-eron ja tilavuusvirran mukaan erillisillä kaavoilla. Kaavassa (8) [2] on esitetty käyttömomentin T [$\text{N} \cdot \text{m}$] laskentaa varten kaava

$$T = \frac{\eta_{hm} \cdot \Delta p \cdot V_k}{2 \cdot \pi}, \quad (8)$$

jossa η_{hm} on hydromekaaninen hyötysuhde [], Δp on pumpun yli oleva paine-ero [Pa] ja V_k on pumpun kierrostilavuus [m^3/r].

Hydromekaaninen hyötysuhde ottaa huomioon mekaanisten ja hydraulisten vastusten vaikutukset pumpun toiminnassa. Näitä vastuksia ovat esimerkiksi osien väliset kitkat ja öljyn virtausvastukset virtauskanavissa.

Hydromekaaniseen hyötysuhteeseen vaikuttaa komponentin toimintapaine ja pyörimisnopeus. Paineen kasvaessa hydromekaaninen hyötysuhde nousee. Tällöin pumpun osat loittonevat toisistaan ja niiden väliin muodostuu paksumpi voitelukalvo. Se estää pinnan karheushuippujen kosketuksen vastinpintaan, mikä pienentää kitkaa. Kuvasta 2 nähdään, kuinka hydromekaaninen hyötysuhde lähenee 100 %:a, kun paine kasvaa. [2]

Pyörimisnopeuden kasvaessa hydromekaaninen hyötysuhde aluksi paranee. Pyörimisnopeuden kasvaessa se kääntyy laskuun, kuva 3. Hyötysuhteen laskeminen johtuu öljyn virtauksen lisääntymisestä ja sen seurauksena kasvaneista virtaushäviöistä. [2]

Pumpun tuottama tilavuusvirta q_v [m^3/s] voidaan laskea kaavan (9) [2] mukaan

$$q_v = \eta_v \cdot n \cdot V_k, \quad (9)$$

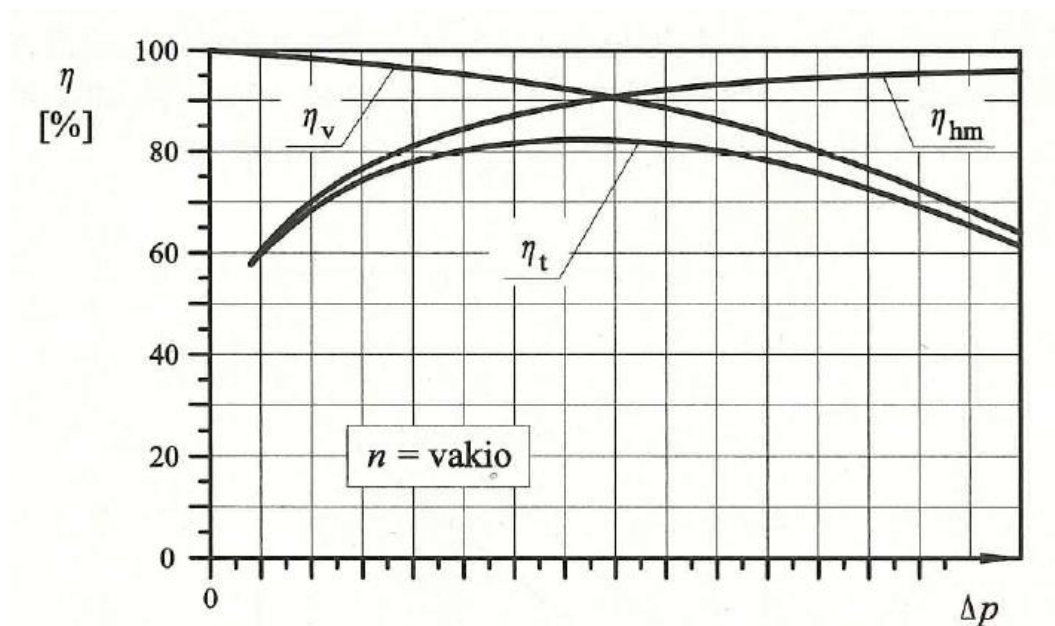
jossa η_v on volumetrinen hyötysuhde[], n on pyörimisnopeus [$1/\text{s}$] ja V_k on pumpun kierrostilavuus [m^3/r].

Volumetrinen hyötysuhde ilmaisee osuuden, joka saadaan hyödynnettyä pumpun pyörimisnopeudesta tilavuusvirran tuottamiseen. Hyötysuhteessa otetaan huomioon muun muassa raoista pumpun koteloon ja vuotolinjaan virtaavan öljyn määrä. Pumpun kulumisen vuoksi volumetrinen hyötysuhde laskee, koska raot suurenevat ja niistä pääsee virtaamaan suurempi määrä öljyä koteloon. [2]

Paine ja pyörimisnopeus vaikuttavat myös volumetriseen hyötysuhteeseen. Hyötysuhde laskee, kun paine-ero nousee, kuva 2. Rakovirtauksen suuruus riippuu raon yli olevasta paine-erosta. Suurella paine-erolla öljyä virtaa raosta enemmän. Paine-ero kasvaa, kun kotelopaine pysyy lähes vakiona ja pumpun työpaine nousee. [2]

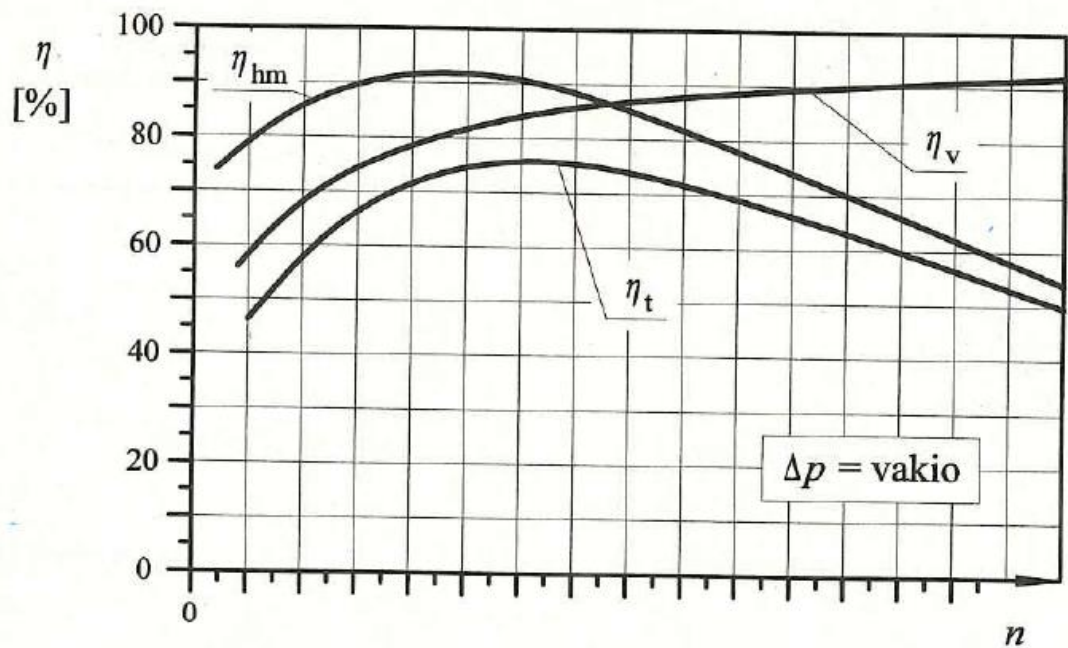
Pyörimisnopeuden kasvattaminen puolestaan parantaa volumetrista hyötysuhdetta, kuva 3. Pumpun rakovirtaukset pysyvät lähes vakioina paine-eron pysyessä samana. Pumpun pyörimisnopeuden kasvaessa sen tuottama tilavuusvirta suurenee. Tällöin häviön osuus pienenee kokonaistilavuusvirrasta. [2]

Kuvassa 2 on esitetty hyötysuhteiden riippuvuus paine-erosta. Kokonaishyötysuhde muodostuu hydromekaanisen hyötysuhteen nousevan ja volumetrisen hyötysuhteen laskevan käyrän tulosta. Koska molemmat käyrät ovat pienempiä kuin yksi, kokonaishyötysuhteen käyrä ei nouse kummankaan käyrän yläpuolelle. [2]



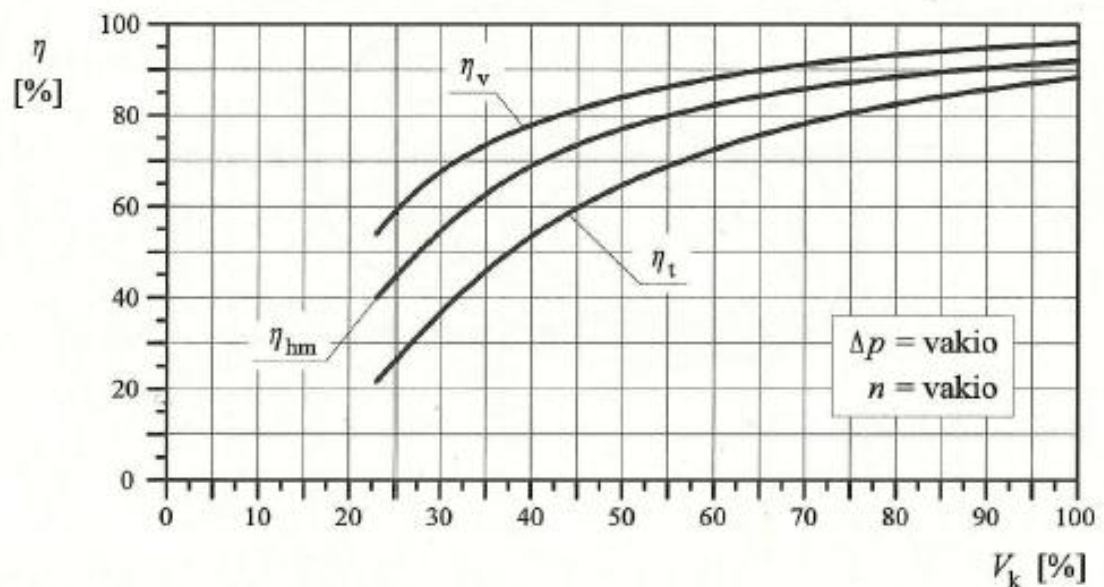
Kuva 2. Pumpun hyötysuhteiden riippuminen paine-erosta. [2]

Kuvasta 2 nähdään kuinka paine vaikuttaa hyötysuhteisiin. Hydromekaaninen käyrä on nouseva ja volumetrinen laskeva. Kuvasta 3 nähdään kuinka pyörimisnopeus vaikuttaa hydromekaaniseen ja volumetriseen hyötysuhteeseen. Nähdään, että käyrät ovat lähes päinvastaiset. Molemmissa tapauksissa kokonaishyötysuhteen käyrä noudattaa lähes samaa muotoa.



Kuva 3. Pumpun hyötysuhteiden riippuvuus pyörimisnopeuksista. [2]

Säätötilavuuspumppujen hyötysuhteisiin vaikuttaa paineen ja pyörimisnopeuden lisäksi myös pumpun suhteellinen kierrostilavuus. Kuvassa 4 on esitetty suhteellisen kierrostilavuuden vaikutus hyötysuhteisiin.



Kuva 4. Säätötilavuuspumpun suhteellisen kierrostilavuuden vaikutus hyötysuhteisiin. [2]

Suhteellinen kierrostilavuus vaikuttaa volumetriseen hyötysuhteeseen samalla tavoin kuin pyörimisnopeus. Pienellä kierrostilavuudella häviöiden suhteellinen osuus nousee

suuremmaksi. Hydromekaaninen hyötysuhde kasvaa suhteellisen kierrostilavuuden kasvaessa. Tämä selittyy osien liikenopeudella. Mitä suurempi suhteellinen kierrostilavuus on, sitä laajempi on osien liikematka ja -nopeus. Suuremmilla nopeuksilla voitelu on parempi ja siksi kitkahäviöt ovat pienemmät. [2]

2.1.5 Moottorin hyötysuhde ja kunto

Hydraulimoottori muuntaa nesteen virtausta ja painetta pyörimisnopeudeksi ja momentiksi. Moottorin toimintaperiaate on käytännössä päinvastainen kuin pumpun. Pienillä virtauskanavien muutoksilla moottori voikin toimia täysin pumppuna ja päinvastoin.

Kuten pumpun myös hydraulimoottorin kokonaishyötysuhde voidaan laskea kaavan (7) mukaan ja se on tyypillisesti 0,80...0,90 välillä. Hyötysuhde riippuu paljon moottorin pyörimisnopeudesta ja sen yli olevasta paine-erosta sekä moottorin tyypistä. Kullakin moottorityypillä on omat optimaaliset paine- ja kierrosnopeusalueensa.

Moottorilta saatava teho P [W] voidaan laskea kaavalla (10) [2],

$$P = q_v \cdot \Delta p \cdot \eta_t = T \cdot \omega, \quad (10)$$

jossa q_v on moottorin läpi kulkeva tilavuusvirta [m^3/s], Δp on moottorin yli oleva paine-ero [Pa] ja η_t on moottorin kokonaishyötysuhde []. Teho voidaan laskea myös momentin T [$\text{N} \cdot \text{m}$] ja kulmanopeuden ω [rad/s] tulona.

Jos moottoriin pääsee likaa tai moottorin sisältä irtoaa partikkeleita, nämä voivat kulkeutua moottorin rakoihin haitaten sen osien liikettä lisäten moottorin abrasiivista kulumista. Kitkat pintojen välillä huonontavat moottorin hydromekaanista hyötysuhdetta. Tämä puolestaan laskee moottorilta saatavaa momenttia T [$\text{N} \cdot \text{m}$] kaavan (11) [2] mukaan.

$$T = \frac{\eta_{hm} \cdot \Delta p \cdot V_k}{2 \cdot \pi}, \quad (11)$$

jossa η_{hm} on hydromekaaninen hyötysuhde [], Δp on paine-ero [Pa] moottorin yli ja V_k on moottorin kierrostilavuus [m^3/r].

Kun kierrostilavuus ja paine-ero pysyvät vakioina ja hyötysuhde laskee, pienenee moottorilta saatava momentti. Paine-eroa moottorin yli tulee kasvattaa, jotta moottorin momentti pysyy samana. Käytännössä tämä tapahtuu syöttöpainetta nostamalla. Näin ollen maksimipaineella saadaan pienempi momentti moottorista, kun hydromekaaninen hyötysuhde on alentunut.

Moottorin volumetrinen hyötysuhde kuvaa, miten suuri osa tilavuusvirrasta pyörittää moottoria. Moottorin kulmanopeus ω [rad/s] voidaan laskea kaavan (12) [2] mukaan

$$\omega = \frac{q_v \cdot \eta_v}{V_k}, \quad (12)$$

jossa η_v on moottorin volumetrinen hyötysuhde [], q_v on moottorille johdettava tilavuusvirta [m^3/s] ja V_k on moottorin kierrostilavuus [m^3/r]. Jos moottorin osien väliset raot kasvavat, rakovirtaukset lisääntyvät ja volumetrinen hyötysuhde huononee.

Tilavuusvirta, joka ei pyöritä moottoria, kulkee rakojen kautta moottorin koteloon ja vuotolinjaan olettaen, ettei moottorin kotelo tai tiivistimet vuoda. Tämän vuotovirtauksen q_{vuoto} [m^3/s] voi laskea kaavan (13) mukaan

$$q_{vuoto} = (1 - \eta_v) \cdot q_v, \quad (13)$$

jossa η_v on volumetrinen hyötysuhde ja q_v on moottoriin sisään menevä tilavuusvirta [m^3/s].

Tarkkailemalla moottorin yli olevaa paine-eroa ja moottorin pyörimisnopeutta voidaan hydraulimoottorin heikentynyt suorituskyky havaita. Kaavoista (6) ja (13) saadaan kaavan (14) mukaisesti kokonaishyötysuhde η_t [].

$$\eta_t = \frac{T \cdot \omega}{\Delta p \cdot q_v} = \frac{T \cdot \omega}{\Delta p \cdot \frac{q_{vuoto}}{1 - \eta_v}}, \quad (14)$$

jossa T on moottorin momentti [$\text{N} \cdot \text{m}$], ω moottorin kulmanopeus [rad/s], Δp on moottorin yli oleva paine-ero [Pa], q_v moottorille menevän tilavuusvirran suuruus [m^3/s], q_{vuoto} moottorin vuotolinjan tilavuusvirran suuruus [m^3/s] ja η_v on moottorin volumetrinen hyötysuhde []. Joiltakin moottoreilta vuotovirtausta on helpompi mitata kuin varsinaista virtausta. Tällöin hyötysuhde voidaan laskea kaavan (14) mukaan.

2.1.6 Jäähdyttimen kunto

Kaikki komponentit sitovat ja siirtävät lämpöä ympäristöön. Yksittäisten komponenttien jäähdytyskyky ei kuitenkaan riitä siirtämään lämpöä riittävän tehokkaasti ympäröivään ilmaan. Sen vuoksi järjestelmään on lisätty jäähdyttimiä. Ne on suunniteltu jäähdyttämään nestettä mahdollisimman tehokkaasti. Jäähdyttimen jäähdytyskyky B_θ [W/K] voidaan laskea kaavalla (15) [2].

$$B_\theta = C_U \cdot A, \quad (15)$$

jossa C_U on lämmönläpäisyluku [$\text{W}/\text{m} \cdot \text{K}$] ja A pinta-ala [m^2]. Lämmönläpäisylukua on vaikea määrittää teoreettisesti, sillä siihen vaikuttaa nesteen ja seinämän välinen lämmönsiirtymiskerroin, seinämän lämmönjohtavuuskkerroin sekä seinämän ja ilman välinen lämmönsiirtymiskerroin. Erityisesti seinämän ja ilman välinen lämmönsiirtymiskerroin on hankala määrittää, koska siihen vaikuttaa seinämän likaisuus. Kerroin on käytännössä määritettävä kokeellisesti.

2.2 Komponenttien vikoja

Kaikilla komponenteilla on ominaisvikoja. Moottorin ja pumpun viat muistuttavat hyvin paljon toisiaan komponenttien samankaltaisuuden vuoksi. Sylinterit eivät vikaannu niin helposti kuin muut hydraulikomponentit, koska ne ovat yksinkertaisia toimilaitteita. Venttiileihin kertyneet likapartikkelit voivat estää karan liikkeen.

2.2.1 Viat pumpuissa ja moottoreissa

Pumppu ja moottori ovat mekaaniselta rakenteeltaan hyvin samanlaisia. Tästä johtuen ne voivat vikaantua samalla tavalla.

Pumput ja moottorit sisältävät paljon liikkuvia osia. Siksi ne sisältävät myös paljon pintoja, jotka liikkuvat toistensa suhteen. Jokaisen liikkuvan osan välissä tulee olla ohut voitelukalvo. Liian ohut kalvo voi aiheuttaa osien pintojen kulumista. Tällöin osien väliin jääneet partikkelit pääsevät kosketuksiin vastinpintojen kanssa ja lisäävät pintojen abraasiivista kulumista. Liian paksu voitelukalvo lisää rakovirtausta. Pyörivien akseleiden ja aksiaalimäntäpumppujen mäntien ympärillä on tiivistinrenkaat, jotka pienentävät vuotoja. Kulumisista johtuen pumpuissa ja moottoreissa vuotojen aiheuttamat viat ovat yleisiä.

Suurin osa hydraulipumpuista on säätötilavuuksisia aksiaalimäntäpumppuja. Säätötilavuuspumpun säädin sisältää useita venttiileitä ohjausta varten. Venttiileiden yhteydessä on usein pieni kuristin. Niiden virtauskanavat tukkeutuvat hyvin helposti likapartikkeleiden kulkeutuessa säätimeen. Kuristimen tukkeuduttua säädin ei enää toimi oikein. Usein pumpun ja moottorin syynä vian on ulkopuolisen partikkelin aiheuttama tukos tai joutuminen osien väliin estäen liikkeen. Myös väärin säädetty säädin voi olla vian syy.

2.2.2 Viat sylintereissä

Sylinteri on yksinkertainen komponentti. Oikein mitoitettu ja käytetty sylinteri voi vioitua vain tiivistimen rikkoutuessa. Mahdollista on sisäinen ja ulkoinen vuoto. Sisäinen vuoto syntyy, kun männän tiivistin alkaa vuotaa. Ulkoinen vuoto voi tapahtua letkusta tai sylinterin varren tiivistimestä.

Sisäinen vuoto lisää sylinterin kammioiden välistä nestevirtausta. Tämä hidastaa sylinterin liikenopeutta [4]. Sylinteri ei myöskään pidä enää asemaansa, kun siihen ei ohjata tilavuusvirtaa. Ohjauksen ja nestevirtauksen loppuessa sylinteri liikkuu siihen asemaan, missä kammioiden paineet ja ulkoinen voima ovat tasapainossa.

Oikein mitoitetussa sylinterissä mekaanisia vikoja voi ilmetä valmistusvirheen tai ylikuormituksen seurauksena. Mekaanisena vikana on mahdollista tiivistimien pettäminen,

varren taipuminen tai kiinnityksen tai hitsauksen murtuminen. Varren taipuminen ja murtumat voivat lisätä sylinterin vuotoa. Sylinterin murtumista on käytännössä mahdotonta ennustaa mittauksilla. Silmämääräinen tarkistaminen pienten murtumien varalta on helpompaa ja varmempi tapa.

2.2.3 Viat venttiileissä

Oikein käytettynä venttiilien kuluminen on hyvin vähäistä. Suuri määrä likapartikkeleita nesteessä lisää venttiilin kulumista. Kulunut luistiventtiili vuotaa kulumatonta venttiiliä enemmän, kun karan rakovirtaus on kasvanut kaavan (4) mukaan. Sen vuotamista voidaan työskentelyn aikana kompensoida ohjauksella. Luistiventtiilin kuluminen aiheuttaa sylinterin aseman muuttumisen ohjauksen ollessa pois päältä.

Suljetun istukkatyyppisten venttiilien kuluminen ei vaikuta virtaukseen. Venttiilin kara painuu tiukasti istukkaan, jos pinnat ovat kuluneet tasaisesti. Vain istukan tai karan kuristusreunan epätasaisuus lisäävät vuotoa.

Molemmat venttiili tyytit voivat jumiutua ulkoisen partikkelin joutuessa karan ja rungon väliin. Suuri partikkeli voi myös estää venttiiliä sulkeutumasta tai avautumasta kunnolla joutuessaan virtauskanavan ohjausreunaan.

2.2.4 Viat mekaanisissa osissa

Mekaanisten osien vikaantumista on hyvin vaikea todeta mittauksilla. Ne voivat vikaantua murtumalla. Toistensa suhteen liikkuvat osat voivat vikaantua kulumalla.

Osien murtumista ei voi ennustaa yksinkertaisilla mittauksilla. Tarvittaisiin monimutkaisia venymäliuska-asennelmia venymien ja muodon muutosten selvittämiseksi. Tämän vuoksi mekaanisten osien kunnonvalvonta jätetään tämän työn ulkopuolelle.

Laakerit kuluvat käytössä. Varsinkin ilman oikeanlaista voitelua laakereiden käyttöikä lyhenee huomattavasti. Koneissa on käytössä vierintä- ja liukulaakereita. Vierintälaakereita käytetään vähäisten rasitusten ja suurten nopeuksien kohteissa. Liukulaakerit kestävätkin suurempia voimia, minkä vuoksi niitä käytetään hitaasti liikkuvia ja suuria voimia välittävissä nivelissä, esimerkiksi rungossa ja nosturissa. Laakereiden oikea voitelu on ensiarvoisen tärkeää. Voitelun puute aiheuttaa metallikontaktin pintojen välille, mikä lisää kitkaa ja kulumista. Kitka aiheuttaa laakerin lämpenemistä, jonka seurauksena laakeriin syntyy lämpölaajenemista ja kiinnileikkautumisvaara. Laakeriin joutuneet partikkelit aiheuttavat laakerille lisävastusta ja kiinnileikkautumisvaaran. Laakereiden vikaantumiseen ei kuitenkaan perehdytä sen tarkemmin tässä työssä, koska suuri osa niistä on liukulaakereita ja niiden kunnonvalvonta vaatii suuren määrän antureita.

Vaihteiden hammaspyörien ensivauriot ovat hammaspintojen kulumisia. Rikkoutunut pinta aiheuttaa hampaalle epätasaisen pintapaineen, joka voi olla paikoittain liian suurta, mikä voi aiheuttaa nopeasti väsymiskulumista. Näin rikkoutuneesta pinnasta voi irrota yhä suurempia partikkeleita. Lopulta pinnasta voi lohjeta niin suuria partikkeleita, että ne voivat jumiuttaa hammaspyöräparin. Metallipartikkeleiden määrää on mahdollista seurata yksinkertaisella metallipartikkelianturilla. Lisäksi kulunut hammaspyörä aiheuttaa poikkeavan ominaisvärähtelyn komponenttiin. Värähtelyä voidaan seurata kiihtyvyyssantureilla. Vaihteiden ja hammaspyörien kulumista ei rajata täysin työn ulkopuolelle.

2.2.5 Viat sähkölaiteissa

Sähkölaitteiden vikaantumismekanismi on hyvin satunnainen. Käytännössä ei voida enustaa, miten pitkään sähkölaite tulee toimimaan ennen vikaantumista. Lisäksi sähkölaitteen toiminta poikkeaa harvoin normaalista toiminnasta ennen vikaantumista. Sähkölaitteet ovat monimutkaisia laitteita, joiden tarkastelu vaatii erityistietämystä alasta. Tämän vuoksi sähkölaitteiden vikaantuminen rajataan tämän työn ulkopuolelle. Sähkölaitteiden signaaleita tarkastellaan tässä työssä, jotta voidaan selvittää onko sähköisessä ohjauksessa vikaa.

Myös anturiviat voidaan mieltää sähköviaksi, koska antureiden tieto liikkuu sähköisenä. Työssä ei suljeta näitä kokonaan pois tarkastelusta. Antureiden kuntoa ja vikaantumista ei arvioida.

2.2.6 Viat ohjelmistossa

Metsäkoneessa on monimutkainen ohjausjärjestelmä ja ohjelmisto. Ohjelmisto sisältää monia aliohjelmia ja tuhansia rivejä koodia. Viat ohjelmistossa voi ilmetä vain tietyissä käyttötilanteissa tai vain tietyillä koneilla. Tämän vuoksi ohjelmistosta johtuvat viat suljetaan kokonaan tämän työn ulkopuolelle.

2.2.7 Viat diesel-moottorissa

Diesel-moottorin viat jätetään tarkastelun ulkopuolelle. Nykyään moottorit sisältävät paljon älykästä ohjausta. Moottorista mitataan antureilla monia arvoja, joiden avulla poltto-prosessia ja ulos saatavaa momenttia ohjataan. Vian etsinnässä nämä ohjaukset tulee tuntea erityisen tarkasti. Ohjauksen lisäksi tulee saada tietoon moottorin antureiden arvot. Näitä ei kuitenkaan saa selville ulkopuolisilla lukulaitteilla. Tätä varten tulisi hankkia moottorivalmistajan oma laite. Tällä laitteella onnistuu moottorin säätäminen ja vian etsiminen, jolloin erillinen laite on turha.

3. TOIMINTA-ARVOJEN MÄÄRITTÄMINEN JA SEURANTA

Metsäkoneen toiminta ei noudata tarkkaa sykliä. Koska kaikki puut ovat erikokoisia ja -painoisia, metsäkoneen työskentelypaineet ja tilavuusvirrat eivät ole koskaan tarkalleen samansuuruisia. Antureiden mittauksia ei tämän takia voida verrata suoraan toisiinsa. Tulosten tarkastelussa tulee käyttää tilastollista menetelmää. Tähän soveltuvia menetelmiä ovat esimerkiksi moni-muuttuja diagrammi eli Multi-Variable Histogram (MVH), Aallokemuunnos eli wavelet ja keskiarvojen seuranta tietyllä aikavälillä. Tässä luvussa kerrotaan käytettävistä menetelmistä ja niiden soveltamisesta eri metsäkoneen järjestelmissä.

3.1 Aallokemuunnosmenetelmä

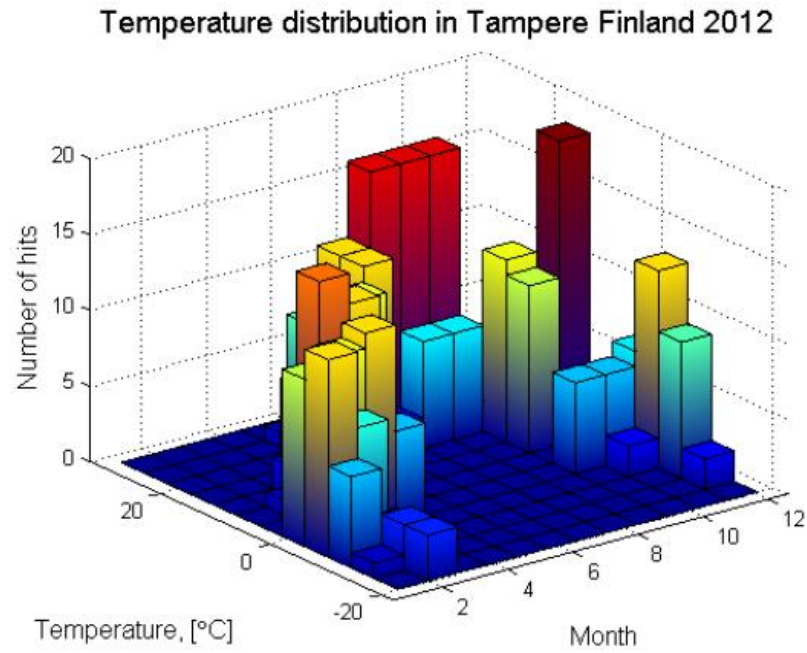
Aallokemuunnos eli wavelet -analyysi soveltuu lyhyiden ja häiriöisten signaalien käsittelyyn. Muunnoksella voidaan jakaa signaali eri taajuuskaistoille, joista voidaan erotella paljon häiriötä mutta ei tarvittavaa tietoa sisältävät taajuudet pois. Jäljelle jääviä merkitseviä taajuuskaistoja voidaan seurata tämän jälkeen yksitellen. Taajuuskaistan amplitudin muutos pitkän aikavälin mittaukseen merkitsee poikkeavaa toimintaa tai vian syntyä.

Wavelet -analyysiä on käytetty esimerkiksi proportionaaliventtiilin kunnon tutkimiseen. Venttiilistä on mitattu ohjausvirta, esiohjauspaine, karan asema ja toimilaitoporttien paineita. Tällöin esimerkiksi venttiilivuodon voi havaita toimilaitoportin paineen värähtelyn vaimenemisena. [5]

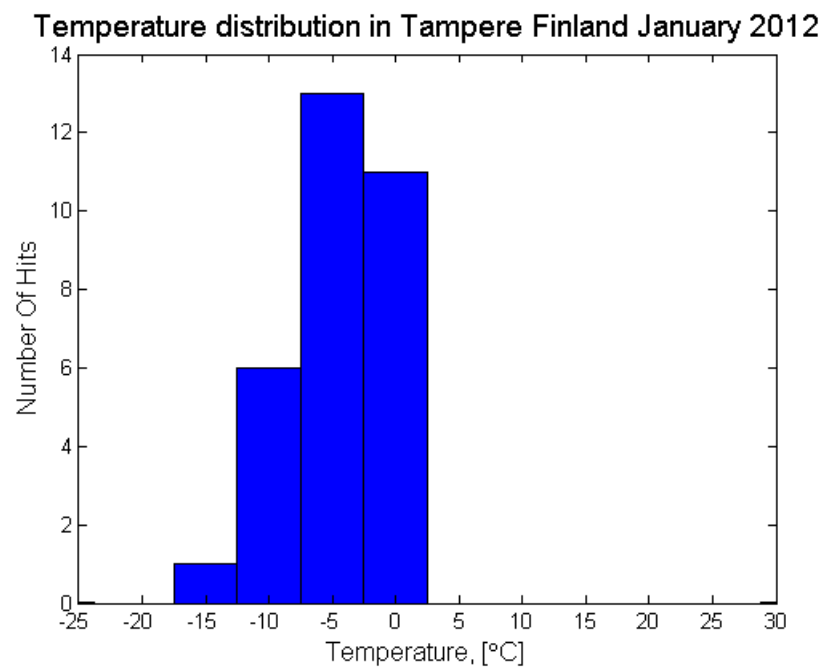
3.2 Monimuuttuja diagrammi -menetelmä

Moni-muuttuja diagrammi eli Multi-Variable Histogram (MVH) soveltuu hyvin kunnonvalvontaan. Sillä voidaan seurata helposti epälineaarisia ja monimutkaisia järjestelmiä, koska se ei perustu simulointi- tai laskentamalliin. MVH -menetelmä perustuu mitattujen ja referenssiarvojen tilastojen väliseen vertailuun. Referenssiarvot on saatu vastaavanlaisesta tai samasta järjestelmästä pidemmällä aikavälillä. [6]

MVH muodostuu toimintapisteistä saaduista arvoista. Kukin toimintapiste määritellään yhden tai useamman muuttujan avulla. Esimerkiksi kuvassa 5 on esitetty Tampereella mitattuja lämpötiloja päivittäin, kun muuttujana on käytetty kuukautta. Kunkin päivän kohdalla on tehty mittaus ja saatu arvo sijoitetaan lämpötila-arvoväleille, esimerkiksi -2,5 – 2,5 °C. Arvovälin arvojen määrä lasketaan ja tästä saadaan tarkastelupisteen todennäköisyysjakauma, esimerkiksi tammikuun todennäköisyysjakauma on esitetty kuvassa 6. Saatua jakaumaa voidaan käsitellä todennäköisyyslaskennan keinoin.



Kuva 5. Tampereen lämpötilat vuonna 2012. [6]



Kuva 6. Tampereen 2012 Tammikuun lämpötila-jakauma. [6]

MVH:lla voidaan huomioida myös järjestelmän vanheneminen. Mittauksille voidaan asettaa vanhenemistekijä kertomalla kukin arvoväli kaavan (16) [6] mukaisella termillä ennen uuden arvon lisäämistä.

$$a = \exp\left(\frac{-1}{K}\right), \quad (16)$$

jossa K on aikavakio []. Mitä pienempi K on, sitä nopeammin arvot vanhenevat. Pienillä K arvoilla voidaan tarkastella laitteen toimintaa lyhyellä aikavälillä, suuremmalla arvolla tarkasteluväli pitenee.

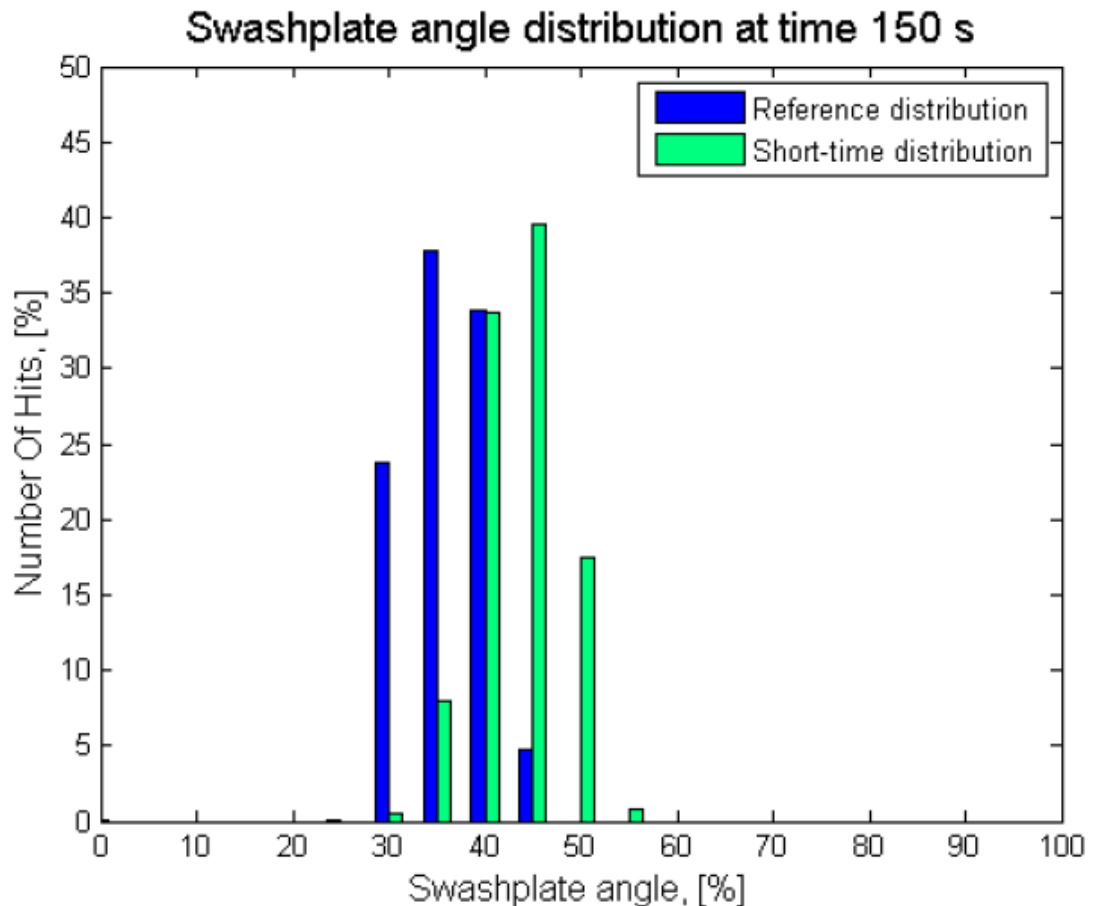
Koska toimipisteiden jakaumat eivät ole samanlaiset eri muuttujien arvoilla, tulee jokaiselle toimintapisteelle määrittää omat raja-arvot ε_{high} ja ε_{low} . Nämä voidaan määrittää kaavojen (17) ja (18) [6] avulla

$$\varepsilon_{high} = \mu_d + z_{MVH} \cdot \sigma \quad (17)$$

$$\varepsilon_{low} = \mu_d - z_{MVH} \cdot \sigma, \quad (18)$$

joissa μ_d on hajonnan keskiarvo, σ on hajonta ja z_{MVH} on todennäköisyyskerroin. Rajat on tyypillisesti asetettu niin, että 90 % mittauksista on rajojen sisällä.

MVH:n kuvaajaan tehdään pidemmän ajan referenssikuvaaaja ja lyhyen ajan kuvaaja. Kun näiden kuvaajien välillä havaitaan toleranssien ylittävä eroavaisuus, voidaan päätellä, että järjestelmän toiminta on muuttunut ja siihen on mahdollisesti syntynyt vika. Kuvasta 7 nähdään kuinka MVH paljastaa toiminnassa olevan poikkeaman. Kuvaajaan on kerätty pumpun vinolevyn asemia tietyssä toimintapisteessä. Sinisiä referenssiarvoja on kerätty pitemmällä aikavälillä. Kun taas vihreää lyhyen aikavälin kuvaajaan on merkitty vain nopeasti vanhenevia arvoja eli lyhyen ajan tarkastelu. Jos referenssiarvoja ei ole riittävästi vioittumattomasta koneesta, ei MVH ole välttämättä luotettava. [6]



Kuva 7. MVH paljastaa toiminnan poikkeavuuden pumpun vinolevyn kulmassa. [6]

MVH:n muuttujien järjestyksellä ei ole väliä. Kirjaaminen voidaan tehdä missä järjestyksessä tahansa. Muuttujat voidaan käsittää vektoreiksi ja diagrammi moniulotteiseksi vektorikuvaajaksi. Muuttujien vektoreista voidaan muodostaa yhteen laskemalla toimipisteelle paikkavektori. Vektorilaskennan mukaan vektoreiden yhteenlasku on vaihdannainen. Tämän vuoksi muuttujien kirjaamisjärjestyksellä MVH:hon ei ole merkitystä.

Pidempiaikaisissa mittauksissa voidaan hyvin käyttää MVH:ta. Lyhempiaikaisissa mittauksissa voi ongelmaksi syntyä liian suuri hajonta ja toimintapisteeseen sattuneiden mitausten vähyys. Varsinkin monen muuttujan kautta määriteltujen MVH:iden ongelmaksi voi muodostua toistojen vähyys. Hajonnan suuruus ja toimintapisteeseen osuneiden mitaustulosten vähyys lisäävät tuloksen epätarkkuutta.

MVH:lla voidaan mitata mitä tahansa. Ainoa rajoitus on datan määrä. Jos käytössä on useammalla muuttujalla määritetty toimintapiste, saattaa referenssipisteiden saaminen osoittautua haastavaksi. Jokaiselle MVH toimipisteelle tulee pystyä laskemaan luotettavat raja-arvot. Liian usealla ja laajalla muuttujajoukolla saattaa aiheutua tilanne, jossa ei tule riittävästi arvoja tietyille toimintapisteille. Näin näille toimintapisteille ei pystytä luomaan riittävän luotettavaa todennäköisyysjakaumaa vian havaitsemiseksi. Liian monen muuttujan MVH:ita ei kannata luoda.

3.3 Seurattavat järjestelmät

Ponsse valmistaa yli kymmentä metsäkonemallia, jotka eroavat toisistaan koossa ja tehossa. Kokoeroista johtuen mallien komponentit ovat erikokoisia ja tuottavat erisuuruisen tehon. Tästä johtuen konemallit eivät ole samanlaisia toisiinsa verraten. Lisäksi kaikki komponentit eroavat hieman toisistaan, koska kahta täysin samanlaista komponenttia ei voida valmistaa. Edellä mainittujen syiden vuoksi arvojen seuranta on luotettavampaa, kun mitattuja arvoja verrata kyseisestä koneesta aiemmin mitattuihin arvoihin. Arvoja voidaan myös verrata saman konemallin vastaavanlaiseen koneeseen tietyin varauksin.

Seuraamalla koneen toimintaa pitkällä ja lyhyellä aikavälillä, voidaan koneen lyhyen ajan poikkeava toiminta havaita. Lyhyen ajan poikkeava toiminta johtuu todennäköisesti viasta. MVH:iden avulla voidaan seurata eri komponenttien toimintaa. Seuraavassa on esitetty kohteita, joita voidaan seurata metsäkoneesta. Järjestelmiä seurataan antureiden avulla tai tarkkailemalla koneen ohjauksia, toimintaa ja toimintoon käytettyä aikaa. Järjestelmien seuranta on suunniteltu uusimpien metsäkonemallien pohjalta.

3.3.1 Jäähdytysjärjestelmä

Jäähdytysjärjestelmä on metsäkoneen toiminnan kannalta tärkeimpiä järjestelmiä. Se siirtää koneen työskentelyssä syntyneen lämmön ympäristöön ja estää näin koneen komponenttien ylikuumenemisen.

Koneen työskennellessä laite ja komponentti muuntavat saamastaan tehosta vain kokonaishyötysuhteen verran työksi. Hyödyntämättömästä osasta suurin osa muuttuu lämmöksi ja lämmittäen komponentteja ja järjestelmää. Myös öljyn virtausvastus on lämmitteää järjestelmää. Öljy virratessa kuristuksen läpi syntyy paljon lämpöä kitkan vaikutuksesta. Jäähdytysjärjestelmän vikaantuessa metsäkoneella pystyy työskentelemään vain lyhyitä jaksoja ennen koneen ylikuumenemista.

Järjestelmän vikaantuminen voi tapahtua hyvin monella tavalla, koska se sisältää useita erityyppisiä komponentteja. Pääkomponentit ovat suljetun piirin säätötilavuuksinen hydraulipumppu, suljetun piirin kiinteätilavuuksinen hydraulimoottori, tuuletin ja jäähdytinkenno. Pääkomponenttien lisäksi järjestelmään kuuluu myös useita erityyppisiä venttiileitä sekä jäähdytettävää öljyä pumppaava pumppu.

Toiminnaltaan järjestelmä on varsin yksinkertainen. Dieselmoottori pyörittää säätötilavuuksista pumppua, jonka kierrostilavuudella säädetään tilavuusvirran suuruutta painelinjassa. Tilavuusvirta pyörittää moottoria, jonka akselille tuuletin on kiinnitetty. Näin tuulettimen nopeus muuttuu suoraan pumpun kulman mukaan. Tuuletin pyrkii liikuttamaan ilmaa lavoilla. Tämä aiheuttaa sille pyörimistä vastustavan voiman, joka puolestaan aiheuttaa moottorille momentin ja nostaa moottorin yli olevaa paine-erotarvetta.

Tuuletin imee ilmaa jäähdyttimen läpi, jolloin jäähdytin ja sen sisällä oleva öljy jäähtyy. Aika ajoin pumppu kääntyy negatiiviselle kulmalle, jolloin suljetun piirin öljyn virtaus-suunta muuttuu. Tämä muuttaa moottorin ja tuulettimen pyörimissuunnan, jonka vaihtuminen aiheuttaa jäähdyttimelle puhaltavan ilmavirtauksen, jolla pyritään poistamaan kennoon kertynyttä likaa. Lika huonontaa kennon lämmönsiirtokykyä ilmaan.

Jäähdyttimen kuntoa voidaan seurata mittaamalla öljyn lämpötilaa ennen ja jälkeen jäähdyttimen sekä jäähdyttimen edessä olevan ilman lämpötilaa. Näiden mittausten perusteella voidaan luoda MVH, joka ottaa huomioon myös ympäristön lämpötilan. Tällöin MVH:ta voidaan verrata luotettavammin aiempiin mittauksiin.

Antureiden asettelulla voidaan vaikuttaa mittaustulosten käytettävyyteen. Jos lämpötila-anturi asennetaan suureen nestetilavuuteen, kuten tankkiin, lämpötilapiikkejä on mahdollton havaita. Kuitenkin pidemmän aikavälin seurannassa suuri nestemäärä poistaa häiriöitä ja värähtelyä mittauksesta ja MVH:sta. Näin mittausten suodattamisen tarve vähenee. Tällä tavalla ei saada selville komponenttien vikaantumisen johtuvia lämpötilapiikkejä. MVH:ta käyttäen on järkevää keskittyä selvittämään vain jäähdytysjärjestelmän suorituskykyä, ei muiden komponenttien vikaantumista.

Jos anturit mittaavat pienemmästä ja nopeammin koneen lämpenemiseen reagoivasta nestetilavuudesta, kuten jäähdyttimen läpi virtaavasta öljystä, saatava MVH seuraa nopeammin koneen todellista lämpötilaa. MVH sisältää kuitenkin tällöin enemmän värähtelyä. Värähtely hankaloittaa MVH:n tulkintaa ja mahdollisten vikojen löytymistä. Jäähdyttimen ympärillä olevilla lämpötila-antureilla voidaan seurata jäähdyttimen kuntoa paremmin kuin tankissa olevalla anturilla.

Mittaamalla tuulettimen pyöritysmoottorin painetta voidaan arvioida tuulettimen pyörimisnopeutta. Tuulettimen pyörimisnopeus on verrannollinen liikutettavan ilman määrään. Suurempi ilmamäärä puolestaan vastustaa enemmän liikettä. Ilmanvastus lisää tuulettimen pyörimisvastusta, joka nostaa moottorin painetasoa. Näin painetasoa mittaamalla voidaan arvioida jäähdyttimen läpi kulkevaa ilmamäärää.

3.3.2 Ajovoimansiirron hydraulinen ja mekaaninen järjestelmä

Ajovoimansiirto on koneen liikkumisen kannalta tärkein järjestelmä. Se koostuu suljetusta hydraulipiiristä ja mekaanisesta voimansiirrosta. Hydraulinen ajovoimansiirto sisältää säätötilavuuspumpun ja -moottorin. Diesel-moottori pyörittää hydraulipumppua, josta öljy johdetaan hydraulimoottorille. Hydraulimoottori pyörittää jakovaihdetta, josta momentti siirretään akseleiden ja tasauspyörästöjen kautta teleille ja pyörille. Yhdenkin komponentin vikaantuminen tästä ketjusta voi aiheuttaa koko ajovoimansiirron vikaantumisen ja koneen liikkumiskyvyttömyyden.

Säätötilavuuksinen pumppu huolehtii ajovoimansiirron tilavuusvirran tuottamisesta. Säätötilavuuksinen moottori vastaa tilavuusvirran ja paineen muuntamisesta sopivaksi pyörimisnopeudeksi ja momentiksi. Moottorin yhteydessä on myös huuhteluventtiili, joka ohjaa alemman paineen puolelta osan tilavuusvirrasta vuotolinjaan ja tankkiin. Pumpun syöttöpumppu korvaa huuhteluventtiilin kautta poistetun öljymäärän.

Mekaanisessa ajovoimansiirrossa jakovaihte jakaa tehon etu- ja takarungon pyörille. Jakovaihteella voidaan myös kytkeä takarungon pyörien veto pois päältä. Jakovaihteelta teho siirretään akseleilla tasauspyörästäille, joka mahdollistaa koneen kääntyessä pyörien pyörimisen eri nopeudella. Tasauspyörästä teho siirtyy telien hammaspyörien kautta pyörien akseleille ja pyörille.

Mekaanisessa ajovoimansiirrossa on useita hammaspyöriä sisältäviä vaihteita. Hammaspyörät pyörivät koteloissa, jotka sisältävät voiteluöljyä. Voiteluöljy ei pelkästään voitele, vaan myös huuhtelee ja jäähdyttää pyöriä. Öljyn mukana likapartikkelit kulkeutuvat kotelon pohjalle, jossa niitä voidaan kerätä esimerkiksi magneettitulpan avulla. Magneettitulpan lisäksi voidaan asentaa erillinen metallipartikkeleita tunnistava anturitulppa. Metallipartikkelianturilla voidaan selvittää vaihteiston tai tasauspyörästä hammaspyörien kulumisen ja tarkistamisen tarpeen.

Vaihtoehtoinen tapa on myös seurata pyörivien osien ominaisvärähtelyä. Kunkin osan epäkeskisestä pyörimisestä syntyy komponentille ominaisvärähtely. Värähtelyn taajuus muuttuu, kun kappaleen massakeskipisteen etäisyys muuttuu pyörähdysakseliin nähden. Epäkeskisyys voi muuttua materiaalin irrotaessa kappaleesta tai kappaleen deformaation myötä. Tämä indikoi vikaa.

Hydraulisen ajovoimansiirron kunnon seuraaminen puolestaan tehdään esimerkiksi toisen ajosuunnan painelinjaa ja moottorin ohjauspainetta seuraamalla. Näiden lisäksi on mahdollista seurata myös moottorin pyörimisnopeutta. Näiden kolmen mittauksen perusteella voidaan luoda MVH, jolla pumpun ja moottorin toiminnan ja kunnon seuranta voidaan toteuttaa. Painelinjan painetta ja pyörimisnopeutta seuraamalla voidaan arvioida kulutettua tehoa.

Suljetun piirin syöttöpainetta tulisi seurata. Tällöin voidaan huomata, jos komponenteissa tapahtuu suuria vuotoja. Esimerkiksi moottorin huuhteluventtiilin vikaantuminen voi paljastua jo pelkällä syöttöpaineen seurannalla.

3.3.3 Harvesteripään hydraulijärjestelmä

Harvesteripää on hakkuukoneen tärkein työkalu. Jos se ei toimi, ei koneella voi työskennellä. Se on myös koko hakkuuketjun tärkein laite. Ilman sitä ei muillekaan koneille ole töitä.

Harvesteripää sisältää useita toimintoja. Se pystyy tarttumaan, kaatamaan ja karsimaan puun sekä sahaamaan sen poikki. Lisäksi puun pituus ja halkaisija mitataan käsittelyprosessin edetessä. Mahdollisesti vikaantuvia kohteita on useita. Harvesteripää on pyritty rakentamaan mahdollisimman pieneksi ja kevyeksi, jotta sen käsittely pitkän puomin päässä olisi mahdollisimman vaivatonta. Tämän vuoksi harvesteripään rakenne on erittäin kompakti ja vikaantuneen komponentin vaihtaminen voi olla hyvin vaikeaa ja aikaa vievää.

Harvesteripään toimintoja toteutetaan hydraulimoottoreilla ja hydraulisylintereillä. Kaikkia toimilaitteita ohjataan samalla ohjauslohkolla. Lohkossa on erotettu kolme eri toimintalohkoa. Yksi osalohko sisältää paljon tilavuusvirtaa vaativat toiminnot eli puun sahauksen ja syötön toiminnot. Toinen osalohko sisältää paineenhallintaan liittyvät paineenalennusventtiilit ja kolmas osalohko sisältää normaalit vähän tilavuusvirtaa vaativat toiminnot. Osalohkot on tehty mahdollisimman kompakteiksi eikä niissä ole ylimääräistä tilaa lisäänturoinnille.

Harvesteripään toimintaa ja kuntoa seurataan mittaamalla sen painetta ja ohjausta. Harvesteripumpun painepyyntö saadaan suoraan kuljettajan sähköisestä ohjauksesta. Pumpun kunto nähdään, kun lohkon painetta verrataan haluttuun painepyyntöön.

Syöttörullilla kuljetetaan puuta harvesteripään läpi. Puun edetessä rungosta karsitaan oksat pois karsintaterillä. Syöttörullia pyöritetään radiaalimäntämoottoreilla. Näiden moottoreiden kuntoa voidaan arvioida niiden tehon kulutuksen perusteella. Tehon kulutukseen vaikuttaa puun koko, pituus ja syöttönopeus. Näitä voidaan arvioida rungon halkaisija- ja pituusmitasta. Halkaisijan perusteella voidaan tilastollisesti arvioida puun syöttöä vastustava voima. Syöttönopeus saadaan pituusmitan muutosnopeudesta. Se vaikuttaa moottorin tarvitsemaan tilavuusvirtaan. Syöttönopeutta seuraamalla voidaan seurata syöttömoottorin kulumista ja vuotoja. Ottamalla huomioon puun halkaisija MVH:ssa voidaan puun koon vaikutusta pienentää moottoreiden kunnon tarkastelemisessa.

Sahamoottorina käytetään kiinteätilavuuksista aksiaalimäntämoottoria, joka pyörittää teräketjua. Koska sahamoottoreita on vain yksi, sitä on helpompi seurata kuin syöttömoottoreita. Pyörivää terää painetaan puuta vasten hydraulisesti. Mittaamalla rungon katkaisuun kulunutta aikaa ja puun halkaisijaa puulajin suhteen, voidaan moottorin ja ketjun kuntoa arvioida. Lisäämällä MVH:n vielä ketjun vaihdosta kulunut aika voidaan terän kunnon vaikutusta minimoida tarkastelusta. Näin MVH:hon jää jäljelle vain hydraulimoottorin kunnon vaihtelusta aiheutuva sahausajan muuttuminen.

3.3.4 Nosturin hydraulijärjestelmä

Työskentelyn kannalta nosturin toimiminen on tärkeää. Toimimaton nosturi lamauttaa tai hankaloittaa koneella työskentelemistä. Pahimmassa tapauksessa huonoon asentoon jäänyt nosturi voi vaikeuttaa myös koneen liikuttamista, jopa estää sen.

Nosturin hydraulijärjestelmään kuuluvat säätötilavuushydraulipumpun lisäksi venttiilipöytä ja toimilaitteet. Venttiilipöytä sisältää etupäätylohkon ja päätylevyn sekä kullekin toimilaitteelle oman mobileventtiilin. Tämä sisältää toimilaitteen ohjauksen kannalta kaiken tarpeellisen. Siinä on painekompensaattori, hydraulisesti ohjattu pääkara, esiohjausventtiilit sekä paineenrajoitusventtiilit toimilaitelinjoille ja LS-linjan molemmille liikesuunnille.

Venttiilipöydän etupäätylohko sisältää paineenrajoitusventtiilin. Pääty pitää huolen myös oikeantasoisesta esiohjauspaineesta. Päädyn kautta kulkee myös venttiilipöydän LS-paine kopiokaran kautta. Kopiokara nopeuttaa LS:n toimintaa.

Nosturin toimintaa ei voida seurata ja tarkastella normaalin käytön aikana. Toimilaitteet ovat melkein kaikki sylintereitä. Lukuisat toimilaitteiden asemakombinaatiot mahdollistavat nosturille rajattoman määrän asentoja. Lisäksi nosturin työskennellessä kuorma vaihtelee suuresti. Lukuisten erilaisten kombinaatioiden vuoksi, nosturin kuntoa on mahdotonta tarkastella mittauksilla. Mittauksia parempi tapa on seurata silmämääräisesti ja toiminnallisesti nosturin kuntoa. Mittauksilla pystytään kartoittamaan lähinnä pumpun kuntoa.

Nosturin ohjausventtiilin ohjausvirtoja seuraamalla voidaan nosturin ominaisuuksien muuttumista havainnoida pitkällä aikavälillä. Venttiilin tai toimilaitteiden ominaisuuksien muuttumisen seurauksena ohjausvirran suuruuden tulee muuttua, jotta saadaan samanlainen haluttu toiminto nosturilta. Kun jokaisella kuljettajalla on henkilökohtaiset tottumuksen nosturin ohjauksessa, voidaan näitä tottumuksia seurata virtaa tarkkailemalla.

Kaikki kuljettajat hidastavat ja kiihdyttävät liikettä omien tottumustensa mukaisesti. Kuljettajat pyrkivät pitämään nosturin nopeuden työskennellessään samanlaisena. He eivät tiedosta, jos ohjausta tulee muuttaa hieman, jotta totuttu nosturin liike saavutetaan. Kunkin kuljettajan ohjaukset ovat kuitenkin erilaiset ja näin myös venttiilien ohjaukset ovat erilaisia. Venttiilin tai toimilaitteen ominaisuuksien muuttuessa kuljettajan tulee muuttaa ohjauskomentoaan pitääkseen työskentely- ja liikenopeuden totuttuna. Kuljettaja ei huomaa antamansa ohjauksen pientä muutosta pitkällä aikavälillä. Ohjausvirtojen arvoista voidaan kuitenkin laskea keskiarvot ja tarkastella niitä esimerkiksi viikoittain. Ohjausvirrat tulee kirjata kuljettajakohtaisesti ylös. Kuvassa 8 on esitetty kaivinkoneen kolmen liikkeen mitatuista ohjausvirroista viikoittain lasketut keskiarvot. [5]



Kuva 8. Viikoittain laskettujen kaivinkoneen venttiilien ohjausvirtojen keskiarvot kolmelle liikkeelle. [5]

Voidaan olettaa, että kuljettajan tottumukset toimilaitteen liikenopeuksiin eivät ole muuttuneet radikaalisti lyhyellä tarkasteluvälillä. Kuvassa 8 viikon 7 jälkeen vasemman pyörityssuunnan venttiiliä ohjataan suuremmalla virralla. Suurempi ohjausvirta avaa venttiiliä enemmän, jolloin karan kuristusreunan painehäviö pienenee ja venttiilin läpi tulisi virrata suurempi määrä öljyä ja toimilaitteen liikkeen nopeutuu. Näin ei kuitenkaan tapahdu, olettaen että kuljettajan liikenopeustottumus pysyy samana. Muualle venttiiliin on pitänyt kehittyä virtausvastus, joka pienentää virtausta, tai toimilaitteeseen on syntynyt liikettä hidastava sisäinen vuoto.

3.3.5 Jarrujärjestelmä

Kaikkien koneiden jarrujärjestelmät ovat lähes samanlaiset. Jarrujärjestelmäksi luetaan seisonta-, työskentely- ja käyttöjarru. Näiden lisäksi portaiden nosto ja nosturin käännön jarru kuuluvat samaan piiriin. Portaiden yläasento varmistetaan anturin avulla, eikä seisontajarrua vapauteta ilman tältä anturilta tullutta varmistusta. Nosturin käännön jarrua ei tarkastella tarkemmin.

Järjestelmään teho saadaan nosturin tai harvesteripään pumpulta. Paine alennetaan paineenalennusventtiilillä järjestelmälle sopivaksi, minkä jälkeen tilavuusvirta ohjataan seisonta- ja käyttöjarruventtiileille. Kullekin jarrulle on oma paineenalennusventtiili, joka alentaa paineen sopivaksi kyseisen jarrun käyttöön. Vain jarrupolkimien venttiileille johdetaan jarrujärjestelmän täysi paine.

Jarrujärjestelmässä on kolme paineakkua. Yksi akuista on ennen kaikkia venttiileitä ja sillä varmistetaan tilavuusvirta kaikkiin jarrutoimintoihin. Kaksi muuta akkua on etu- ja

takapään jarrupolkimien yhteydessä. Jos syöttöpaine häviää, akkujen ansiosta jarrujärjestelmä toimii hetken normaalisti ennen kuin seisonta- ja nosturinkäännön jarru kytkeytyvät päälle paineen laskiessa.

Järjestelmä sisältää kaksi painekytkintä. Toisen kytkimen raja on asetettu 7 MPa:han ja toisen 9 MPa:han. Paineen laskiessa liian alas 9 MPa:n anturi kytkeytyy päälle ja varoittaa alhaisesta paineesta. Paineen laskiessa vielä alemmaksi 7 MPa:n kytkin aktivoituu ja saa aikaan jarrujen kytkeytymisen päälle. Esimerkiksi tarkkailemalla näiden painekytkimien kytkeytymisiä, voidaan jarrujärjestelmän kuntoa arvioida. Antureiden kytkeytymisen tarkistaminen tapahtuu parhaiten, kun diesel-moottori on sammutettu. Tällöin järjestelmän painetta ei pidetä yllä. Kaikki järjestelmän vaatima teho saadaan akuista. Kun lasjetaan kuinka monta kertaa poljinta voidaan painaa ennen kuin painekytkimet kytkeytyvät, voidaan järjestelmän kuntoa arvioida. Seuraamalla akkujen tyhjentämisen jälkeen akkujen latautumisaikaa alemmalta painerajalta ylemmälle voidaan järjestelmän kuntoa arvioida.

4. MITTALAITTEISTO JA ANTURIT

Koneen toimintaa voidaan seurata erilaisilla mittauksilla tarkemmin kuin silmämääräisellä tarkastelulla. Lisäksi antureilla ja mittalaitteistolla saadaan diskreettejä lukuja, joita voidaan myöhemmin verrata helposti toisiin. Mittalaitteistoja ja antureita on lisäksi kehitetty erityyppisiin ja -tarkkuisiin mittauksiin.

Tässä luvussa kerrotaan käytössä olevista mittalaitteista ja erilaisista antureista ja niiden ominaisuuksista. Lopuksi valitaan sopivat anturit koneeseen kiinteästi asennettavaksi sekä huoltomiehen mittalaitteistoksi.

4.1 Käytössä olevat mittauslaitteistot

Huoltokorjaamoilla ja huoltomiehillä on käytössä useampia erilaisia mittalaitteita koneen järjestelmien mittaamista varten. Nämä mittalaitteet eivät kuitenkaan ole yksinkertaisia käyttää, eikä niiden yhteensopivuutta voida taata eri valmistajien kesken.

Tämän työn yksi tarkoitus on luoda helppokäyttöinen mittalaitteisto, johon voidaan kytkeä halutun valmistajan anturit helposti. Tämän vuoksi antureiksi on valittu CAN-väylään liitettäviä antureita. CAN-väylä mahdollistaa helpon kytkennän mittalaitteeseen ja standardimuotoisen mittasignaalin.

4.1.1 Mittauslaite – Parker ServiceMaster

Ponssen Iisalmen huoltopalvelupisteellä on käytössä Service Master Easy. Laitteella voidaan mitata yhtä aikaa useampaa eri anturia. Anturit voivat olla esimerkiksi paine-, lämpötila-, tilavuusvirta- ja kierrosnopeusantureita.

Anturit kiinnitetään lukulaitteeseen, jonka näytteenottoväli Service Masterilla on nopeimmillaan 1 ms. Näytteen resoluutio on 12 bit eli 4 096 askelta. Jokaiselta näyteväliltä mittalaitte tallentaa näytevälin minimi- ja maksimiarvon, joiden perusteella lasketaan datapiste. [7]

Mallista ja sisääntuloista riippuen Service Master voi tallentaa 60 000:sta aina 250 000:een MIN ja MAX näyteparia, 60:stä aina 240:een yksittäistä käyrää ja 20:stä 40:een mittausta. Käyräksi voidaan myös määrittää paine-ero Δp [MPa] tai hydraulinen teho P [W]. Laite voidaan ohjelmoida aloittamaan mittaus alkavaksi rajaohjattuna, ajastettuna, ulkoisella signaalilla tai manuaalisesti. Kerätty data voidaan tallentaa Service Masteriin tai PC:lle. Kaikki mittaukset voidaan siirtää suoraan tai myöhemmin PC:lle. [7]

Paineen mittauksessa Service Masteriin voidaan liittää Parkerin SCPT- mallin antureita. Antureita on saatavilla eri mittausalueille, aina 1,5 MPa:n maksimipaineesta 100 MPa:n paineeseen. Yleisesti anturin vasteaika on 1 ms ja tarkkuus $\pm 0,5 \%$ toiminta-alueesta. Anturin kiinnitys mittapisteeseen tapahtuu SCA-EMA-3- SCA3-xxx letkulla. Letku käy 1/4 " BSPP mittapisteisiin. Anturin käyttölämpötila on $-25\text{ }^{\circ}\text{C}$ ja $+105\text{ }^{\circ}\text{C}$ välillä. [7]

Lämpötila-antureina voidaan käyttää Parkerin SCT-150-antureita. Anturin tyypistä riippuen se voidaan asentaa joko letkuun tai muuhun suurempaan nestetilavuuteen. Antureiden maksimi mittauslämpötila on $+125\text{ }^{\circ}\text{C}$. Vasteaika $T_{0,9}$ on 13,5 sekunnista alle 5 sekuntiin. [7]

Tilavuusvirran mittaukseen Parkerilta löytyy kolme erityyppistä anturia: jousi/mäntä-, turbiini- ja ratastyyppinen anturi (Gear). Virran suuruudesta ja käyttökohteesta riippuen voidaan valita paras vaihtoehto.

Jousi/mäntätyyppisessä SCQ- mallin anturissa virtaus painaa tai vetää mäntää, joka on kiinni jousessa. Männän liikkeen perusteella voidaan määrittää virtauksen suuruus. Virtauksensuunta tunnistetaan männän liikesuunnan perusteella. Jousi/mäntätyyppisen anturin vasteaika on alle 2 ms ja se paineesto on 42 MPa:ta. Tilavuusvirta-anturin aiheuttama painehäviö Δp on 0,2 MPa:sta 0,8 MPa:han riippuen virran suuruudesta. Anturilla voidaan mitata 150 l/min virtaa molempiin suuntiin. Anturin tarkkuus on 46 cSt viskositeetillä $\pm 2,0 \%$. Anturilla on laaja viskositeettialue. [7]

Turbiinityyppisellä SCFT- tilavuusvirta-anturilla voidaan mitata huomattavasti suurempia tilavuusvirtoja kuin jousi/mäntätyyppisellä. Turbiinianturilla voidaan mitata jopa 750 l/min olevia virtoja. Paineen kestossa ei ole suurta eroa, sillä anturi kestää 48 MPa paineen. Painehäviö on noin puolet pienempi verrattuna mäntätyyppiseen, painehäviö Δp on 0,15 MPa:sta 5 MPa:han. Mittaustarkkuus on anturilla $\pm 1,0 \%$ 21 cSt:lla. [7]

Lisäksi tilavuusvirtaa voidaan mitata Parkerin SCVF- hammaspyöräanturilla. Tällä anturilla päästään varsin tarkkaan $\pm 0,5 \%$ mittaustarkkuuteen. Läpäisyltään 300 l/min anturi sijoittuu edellä mainittujen väliin. Virtauksen aiheuttama painehäviö Δp on voimakkaasti riippuvainen nesteen viskositeetistä. Viskositeetin ollessa 34 cSt ja virtauksen 300 l/min Δp on noin 0,85 MPa:ia. [7]

Pyörimisnopeuden mittaamiseen voidaan käyttää optista anturia. Anturi laskee pyörähdysaikoja. Se voi hitaimmillaan mitata 20 RPM pyörimisnopeuksia ja nopeimmillaan 10 000 RPM, $< 0,5 \%$ ± 5 RPM tarkkuudella. Pyörimisnopeutta voidaan mitata myös erillisten kosketusadapterien avulla suoraan akselistä tai muusta liikkuvasta pinnasta. Adapteri sisältää pienen pyörän, jonka pyörähdyksiä lasketaan. Sitä käytettäessä tulee tietää pyörivien kappaleiden halkaisijat. [7]

Service Masterilla voidaan mitata myös muita kuin edellä mainittuja antureita. Service Masteriin löytyy erilaisia lisälaitteita, joilla voidaan ulkoisten antureiden virta- ja jännitesignaaleja muuntaa laitteelle sopivaksi SCMA-VADC- muuntimen avulla. Myös datan siirtämiseksi on erilaisia lisävarusteita, SCMA-TR:n avulla voidaan mittaus käynnistää PC:ltä ja data siirtää PC:lle. SCMA-AO:n avulla voidaan kerätty data syöttää ulkoiselle laitteelle analogisena signaalina. Ulkoinen laite voi olla esimerkiksi graafinen piirturi. [7]

4.1.2 Mittauslaite – Hydrotechnik MultiSystem 5060

Vieremällä ja Iisalmen huoltopalvelussa on käytössä myös Hydrotechnikin valmistama mittalaite. Tämä ei kuitenkaan ole niin laajasti levinnyt huoltopisteisiin maailmalla kuin Service Master. Hydrotechnikin mittalaite on tarkempi ja kalliimpi. Laitteen huonoksi puoleksi voidaan lukea antureiden hankala kytkeminen.

Aikoinaan huoltopalveluun on hankittu Hydrotechnikin 5060 mittalaite. Laitteen näytteenväli on 0.1 ms. Tämän 5060-mittalaitteen mittaama data on 13-bittistä eli kaksinkertainen kuin Service Masterin 12-bittinen. Hydrotechnikiin käyvien antureiden tarkkuudet ovat samaa luokkaa kuin Service Masterin. [8]

4.2 Anturit ja muuntimet

Metsäkoneen toiminnan tarkastelemiseksi ja seuraamiseksi pitää asentaa koneeseen erityyppisiä antureita. Osa antureista asennetaan pysyviksi, jotta voidaan seurata kriittisten järjestelmien kuntoa jatkuvasti. Suurin osa antureista on huoltomiehen asennettavissa. Tällöin niiden avulla tarkastellaan vain vian sisältävää järjestelmää. Laajemmilla mittauksilla pyritään rajaamaan vian aiheuttanut komponentti mahdollisimman tehokkaasti ja tarkasti.

Yleisin asennettava anturi on paineanturi. Kaikkien komponenttien toimintaa ei saada täysin selville pelkillä paineantureilla. Tämän vuoksi tarvitaan myös lämpötila-, pyörimisnopeus-, tilavuusvirta-, metallipartikkeli- ja kiihtyvyyssantureita. Lisäksi tarvitaan lukulaite, johon kaikki anturit liitetään ja joka voi käsitellä tai lähettää mittauksien arvoja eteenpäin. Lukulaitteeksi tähän työhön on valittu CAN-WLAN-moduuli. Tämän tyyppiset moduulit voivat lukea CAN-väylältä antureita ja lähettää arvot WLAN:a käyttäen päätelaitteelle tarkasteltavaksi. Mahdollista on myös tallentaa mittausarvot moduuliin ja siirtää myöhemmin päätelaitteelle.

4.2.1 CAN-WLAN -moduuli

Koneeseen huoltomiehen asentamien antureiden on tarkoitus toimia CAN-väylällä. CAN-väylän käyttämisessä on monia hyviä puolia. Väylään voidaan helposti liittää useita erityyppisiä ja eri valmistajien antureita, eikä antureiden ja moduulin välille tarvitse vetää useita kaapeleita. CAN-viestit ovat helppoja kääntää kulkemaan WLAN:nin välityksellä

päätelaitteelle. Tällä tavoin kaapelin tarve vähenee entisestään, eikä koeajon aikana tarvitse varoa kaapelin katkeamista. Kaapeleiden vähentämisen vuoksi CAN-moduulilta edellytetään myös akkua. Taulukossa 1 on esitetty eri valmistajien tarjoamia moduuleita ja niiden olennaiset ominaisuudet.

Taulukko 1. CAN-WLAN-moduuleita.

Valmistaja	Malli
Electrum AB [9]	WCB-253757 8 ch 0-5 V input, 802.11 b/g, http-server, 20/60 MB
Caemax [10]	CANbox 2xCAN, LAN, WLAN / Bluetooth
HOST [11]	MX-4 GTT 6xCAN, 6xDin, 4xDout, 2+2xAin(4-20mA+0-32V), 1 GB, sisäinen akku
Espotel [12]	Jhumar USB, Resistive 4,3" touch screen, CAN, WLAN

Electrum ab:n valmistama CAN-WLAN -moduuli on ominaisuuksiltaan varsin monipuolinen hintaansa nähden. Laitteessa on muun muassa web-server, johon voidaan tehdä omat sivut tulosten näyttämistä varten. Sivuille voidaan saada näkyville tietty määrä antureilta saatua dataa. Lisäksi 0-5 V sisääntuloihin voidaan kytkeä halutessa tavallisia koneissa käytettäviä antureita. Moduulin huonona puolena on akuttomuus. [9]

Caemax CANbox:ssa ei ole ollenkaan CAN-väylän lisäksi muita sisäänmenoja tai ulostuloja. Se on vain puhtaasti CAN-WLAN -moduuli. Moduuliin voi kiinnittää kaksi CAN-väylää, joiden signaali voi lähettää edelleen WLAN- tai bluetooth-signaalilla. [10]

HOST:n MX-4 sisältää huomattavasti enemmän liitäntöjä ja ominaisuuksia. Moduulissa on käyttöä varten reilusti digitaalisia sisään- ja ulostuloja. Myös analogisia sisääntuloja on sekä virran että jännitteen lukemista varten. Se sisältää myös paljon ylimääräisiä liitäntöjä. HOSTin moduuliin tulee itse ohjelma antureiden mittausten lukemiseen ja välittämiseen päätelaitteelle. Hyvänä puolena siinä on sisäinen akku. [11]

Espotelin valmistama moduuli on helposti muunneltavissa monenlaiseen tarpeeseen. Laitteessa on perusominaisuuksien lisäksi muista poiketen kosketusnäyttö. Yhdellä laitteella onnistuu mittausten tekeminen, eteenpäin lähettäminen, tallentaminen ja niiden myöhempi tarkastelu. [12]

HOST ja Espotel voivat muokata CAN-WLAN -moduulejaan Ponssen tarpeita varten. Näiltä valmistajilta on mahdollista saada vain Ponssen tarvitsemia ominaisuuksia.

4.2.2 Paineanturi

Toimilaitteelta saatavan voiman ja momentin suuruus riippuu sen yli olevasta paine-erosta. Mitä suurempi paine-ero on, sitä suurempi voima tai momentti on toimilaitteelta mahdollista saada. Jos voiman tarve pysyy lähes vakiona ja toimilaitteen yli oleva paine-ero muuttuu, on toimilaitteella tai sen ohjausventtiilissä todennäköisesti syntymässä vika. Näin vika voi paljastua jo pelkällä painemittauksella.

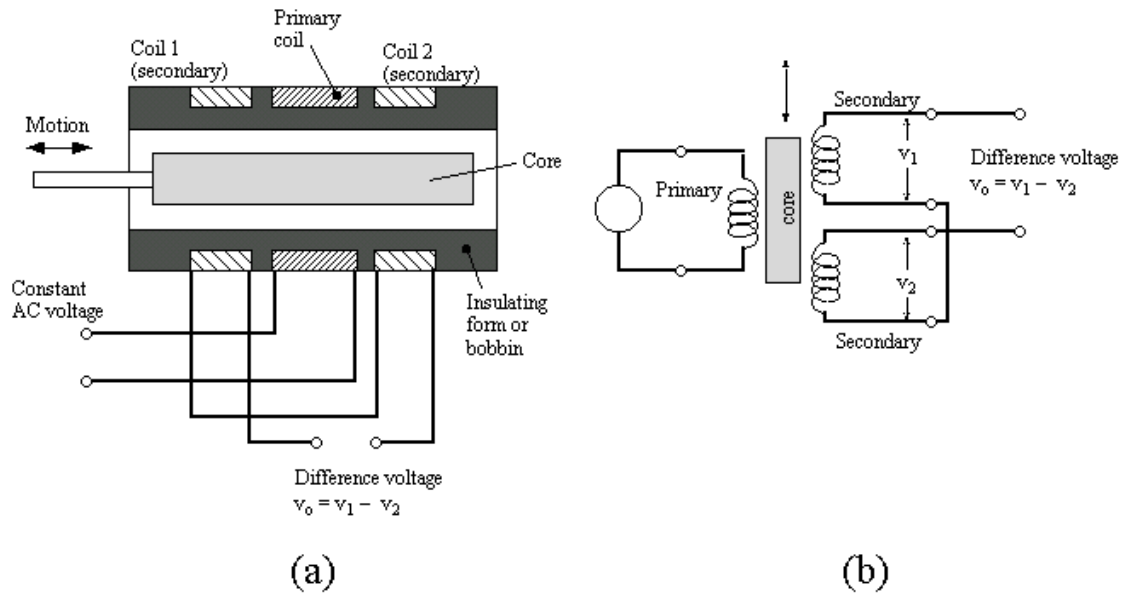
Paine-eroa voidaan mitata paineantureilla. Niitä voidaan valmistaa useammalla eri toimintaperiaatteella. Seuraavassa on kerrottu muutamista toimintaperiaatteista.

Pietsosähköiseen ilmiöön perustuvassa anturissa paine muuttaa kiteen muotoa. Muodon muutos saa aikaan kiteen sähköisen polaroitumisen. Tällöin kiteeseen syntyy pieni sähköinen jännite, jota voidaan mitata. Vastaavasti kun kiteeseen syötetään jännitettä, se muuttaa muotoaan.

Pietsoresistiivinen anturi perustuu kiteen resistiivisyyden muutokseen kiteen jännityksen muuttuessa. Resistiivisyyttä voidaan mitata ja paine saada näin selville.

Kapasitiiviseen ilmiöön perustuvassa anturissa on kaksi levyä, joiden välissä on tyhjiö. Levyjen ollessa varautuneena erimerkkisillä sähkövarauksilla, toimivat ne kondensaattorin tavoin. Paineen suuruudesta riippuen levyjen välinen etäisyys muuttuu. Tämän seurauksena muuttuvat myös levyjen kapasitiiviset ominaisuudet, mikä voidaan mitata.

Lineaarisesti muuttuvaan differentiaalimuuntajaan (Linear Variable Differential Transformer, LVDT) perustuva anturi käyttää hyväkseen sähkömagneettista ilmiötä. LVDT:ssä on kolme käämiä peräkkäin, kuva 9. Keskimmäiseen käämiin johdetaan vaihtovirtaa, jolloin se synnyttää magneettikentän käämien läpi kulkevaan ferromagneettisydämeen. Sydän liikkuu paineen vaikutuksesta käämien sisällä. Sydämen liikkuaessa magneettikenttä muuttuu reunimmaisten käämien sisällä ja niiden virta muuttuu. Reunimmaisista käämistä on kytketty siten, että niiden virrat summautuvat. Kun sydän on keskellä, reunakäämien jännite on nolla. Reunakäämien jännitettä mittaamalla voidaan paine mitata. [13]



Kuva 9. LVDT-käämitys. [13]

Paineantureita valmistetaan erilaisille painealueille. Esimerkiksi Hydrotechnik valmistaa paineantureita -0,1 – +0,1 MPa:sta 0 – 100 MPa:iin painealueille [14]. Myös muilta valmistajilta on saatavilla vastaavien alueiden antureita. Valmistajat eroavat toisistaan vain lähinnä hinnan sekä anturin luvatus tarkkuuden perusteella. Tyypillisesti anturin tarkkuus on 0,1 %:sta aina 1 %:iin. Tarkkuuden vaihtelua johtuu toimintaperiaatteesta ja mittausalueesta.

Antureita voidaan luokitella myös niiden lähettämien signaalien perusteella. Yleisimmin käytettyjä signaaleita ovat virta- ja jännitesignaali. Myös CAN-signaalia käyttäviä antureita valmistetaan. Nämä anturit ovat kuitenkin muita antureita selvästi kalliimpia ja harvinaisempia, koska ne sisältävät elektroniikkaa anturin lukemista ja mittaustuloksen väylälle lähettämistä varten. Lisäksi CAN-antureiden käyttö on vähäisempää ja jotkin valmistajat ovat lopettaneet niiden valmistamisen vähäisen myynnin vuoksi.

Taulukossa 2 on esitetty neljän valmistajan 60 MPa ja 10 MPa antureita. Kaikki anturit ovat asennettavissa G 1/4” kierrereikään ja lähettävät mittaustulokset CAN-väylälle. Maksimipaineen lisäksi on ilmoitettu anturin tarkkuus koko toiminta-alueella, Full Scale (FS). Antureiden tarkkuuksissa ei ole suuria eroja.

Taulukko 2. CAN-paineantureita.

Valmistaja	Malli	Max [MPa]	Tarkkuus % (FS)
Trafag [15]	CMP	60	0,1
	CMP	10	0,1
Parker [16]	SCP CAN	60	0,5
	SCP CAN	16	0,5
Hydac [17]	HDA 4700	60	0,5
	HDA 4700	10	0,5
Hydrotechnik/	PR 126	60	0,5
PMC [18]	PR 126	10	0,5

Taulukkoon 3 on kerätty jännite-signaalilla varustettuja antureita. Virta-signaalia lähettävät anturit on jätetty vertailusta pois, koska niiden lukeminen ei onnistu metsäkoneessa valmiina olevilla lukumoduuleilla.

Taulukko 3. Jännite-signaalilla toimivia paineantureita.

Valmistaja	Malli	Max [MPa]	Tarkkuus % FS
Trafag [19]	NAH	60	0,3
	NAH	40	0,3
Danfoss [20]	MBS 1250	60	0,5
	MBS 1250	10	0,5

Koneeseen voidaan asentaa myös muita kuin taulukossa 3 ilmoitettuja antureita. Anturin mitta-alueen tulee olla kuitenkin riittävä. Lisäksi eri mittaustarkkuuden anturiin vaihdettaessa MVH:n arvoihin tulee suhtautua varauksella. Huonomman tarkkuuden anturilla voi tulla suurempaa värähtelyä mittauksiin ja näin MVH voi vääristyä.

4.2.3 Lämpötila-anturi

Lämpötila-anturilla voidaan seurata koneen tai komponenttien lämpenemistä. Lämpötila-antureita on valmistettu monella eri toimintaperiaatteella. Toiset anturit vaativat kosketuksen kappaleeseen, toisilla voidaan mitata kappaletta koskettamatta. Kummankin tyyppisillä antureilla on omat sovelluskohteensa ja haasteensa.

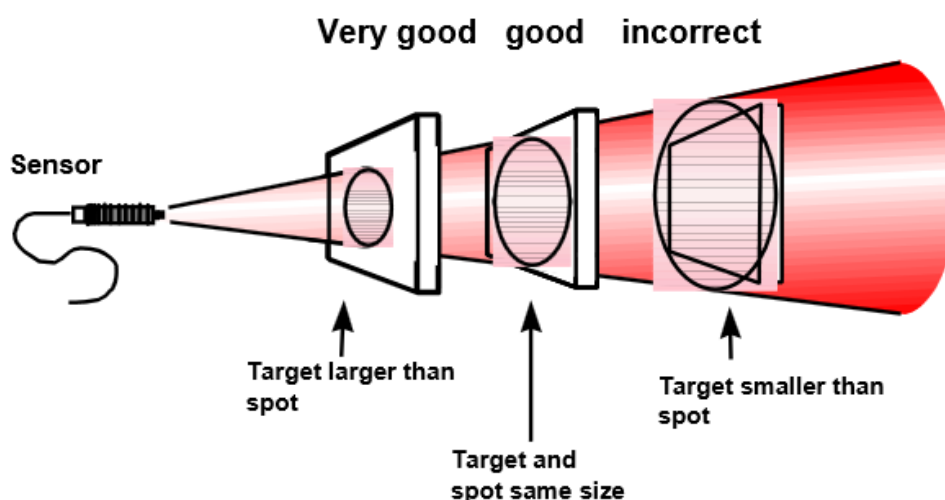
Yleisin lämpötila-anturityyppi perustuu materiaalin sähköisten ominaisuuksien muutokseen materiaalin lämpötilan muuttuessa. Tämän tyyppiset anturit vaativat kosketuksen mitattavaan kappaleeseen. Myös kappaleen lämpösäteilyä mittaavia antureita on kehitetty. Nämä anturit eivät tarvitse kosketusta kappaleeseen, mutta kappaleen pinnan materiaalin ominaisuuksien tulee olla tiedossa.

Materiaalin sähköisten ominaisuuksien muuttumiseen perustuva vastuslämpötila-anturi soveltuvat hyvin esimerkiksi öljyn lämpötilan mittaamiseen. Sen tulee olla kosketuksissa mitattavan kohteen kanssa. Erityisesti nesteiden mittaamisessa kosketukseen perustuvat anturit ovat hyviä, koska neste pystyy siirtämään lämpöenergiaa anturiin nopeasti. Näin anturi saavuttaa ympäristön lämpötilan suhteellisen nopeasti. Vastuslämpötila-anturia käytetäänkin metsäkoneessa öljytankin öljyn lämpötilan mittaamisessa. Näitä antureita on helppo käyttää myös muualla öljyn lämpötilan mittaamiseen. Metsäkoneessa käytettävän anturin mittausalue on $-50\text{ }^{\circ}\text{C} - 150\text{ }^{\circ}\text{C}$, mikä on riittävä kaikissa olosuhteissa. Anturin resistiivisyys muuttuu mittausalueella lämpötilan mukaan $800 - 1570\text{ }\Omega$ välillä. Sen mekaaninen kiinnitys tapahtuu M14x1.5 kierteellä. [21]

Öljyn lämpötilaa seuraamalla ei saada selville yksittäisen komponentin lämpötilaa. Yksittäisen komponentin seuraaminen on joissakin tilanteissa suotavaa, sillä vikaantumassa olevan komponentin lämpötila voi olla huomattavasti muita komponentteja korkeampi. Tämä johtuu komponentin huonontuneesta hyötysuhteesta. Kuitenkin komponentin aiheuttama lämpökuorma öljyyn ei välttämättä ole merkittävä. Tällöin koko öljymäärän lämpötila ei välttämättä nouse merkittävästi vikaantumistilanteessa. Näin vikaantuminen jää huomaamatta pelkkää öljyn lämpötilaa mittaamalla.

Epäiltäessä komponentin vikaantumista, voidaan yksittäisen komponentin pinnan lämpötilaa seurata esimerkiksi infrapunälämpötila-anturilla. Anturin toiminta perustuu kappaleen lähettämään infrapunasäteilyyn. Säteilyn määrä riippuu kappaleen pinnan lämpötilasta sekä emissiivisyyskerroimesta. Emissiivisyyskerroin kuvaa kappaleen pinnan lähettämän säteilyn määrää verrattuna mustan kappaleen säteilyyn. Todellisuudessa mikään kappale ei ole täysin ideaalinen mustakappale, tämän vuoksi kerroin on aina pienempi kuin yksi. Kirkkaiden metallien emissiivisyyskerroin on lähellä 0,1:tä tai jopa alle sen. Mustaksi maalatun pinnan kerroin voi olla yli 0,9 [22].

Polttopisteen etäisyyden lisäksi anturille ilmoitetaan, kuinka paljon kohdealue kasvaa etäisyyden kasvaessa. Suhdelukuna käytetään D:S lukua, missä D on etäisyys ja S on kohdealueen koko. Mitä suurempi luku on, sitä parempi optiikka on käytössä. Kuvassa 10 on esitetty, miten mitattavan kohteen tulisi olla mittausalueeseen nähden. Liian kaukana olevaa kohdetta mitattaessa anturin mittausalue voi hajaantua liikaa ja aiheuttaa epätarkan mittauksen. Liian lähellä olevan kappaleen mittaaminen ei aiheuta epätarkkuutta mittaukseen, vaan tuloksesta saadaan erinomainen. [23]



Kuva 10. Optisen anturin kohteen ja mittausalueen koko. [23]

Infrapuna-anturi sisältää kiinteän optiikan, joka ohjaa säteiden kulkua sensorille. Optiikka määrittää anturille polttopisteen eli paikan, joka on anturille paras etäisyys mittavasta kappaleesta. Anturin optiikasta riippuen se tulisi sijoittaa 0 – 1600 mm päähän mitattavasta kohteesta. [23]

4.2.4 Tilavuusvirta-anturi

Tilavuusvirta-anturilla selvitetään lähinnä moottoreiden ja pumppujen tilavuusvirtoja. Taulukossa 4 on tietoja kahden eri valmistajan tilavuusvirta-antureista. Molempien valmistajien anturit ovat turbiinityyppisiä. Tällaiset anturit soveltuvat hyvin metsäkonekäyttöön pienen painehäviön ja hyvän tarkkuuden vuoksi. Kaikki anturit ovat CAN-yhteensopivia.

Taulukko 4. CAN-Tilavuusvirta-antureita.

Valmistaja	Malli	Min [l/min]	Max [l/min]	Tarkkuus % FS
Hydrotechnik [13]	QT 106	2	75	0,5
	QT 106	9	300	0,5
	QT 106	16	600	0,5
Parker [7]	SCFTT	3	60	1
	SCFTT	8	300	1
	SCFTT	15	600	1

Taulukosta 4 huomataan, että valmistajien antureiden mittausalueet ovat hyvin lähellä toisiaan. Parkerin antureille annetaan huonompi tarkkuus, mutta se on kuitenkin riittävä mitattaviin kohteisiin.

4.2.5 Pyörimisnopeusanturi

Pyörivän liikkeen mittaamiseen voidaan käyttää takometreja. Niiden toiminta perustuu pulssien välisten aikojen mittaamiseen. Pulssi syntyy, kun akselin ympäri pyörivään kappaleeseen merkitty piste pyörähtää lukijan ohi. Esimerkiksi akseliin voidaan kiinnittää heijastava tarra, jota luetaan optisella anturilla. Kun tarra pyörähtää anturiin päin, syntyy heijastuspulssi, jonka anturi havaitsee. Pulssien välistä aikaa mittaamalla saadaan pyörimisnopeus selville. Pulssin voi saada mittaamalla esimerkiksi hammaspyörän hampaasta kapasitiivisen anturin avulla. Tällöin on kuitenkin tiedettävä hampaiden määrä, jotta pyörimisnopeus voidaan laskea.

Metsäkoneessa on useita pyöriviä komponentteja. Tuulettimen pyörimisnopeutta on mitattava selvitetessä sitä pyörittävän hydraulimoottorin kuntoa. Tähän soveltuu hyvin optiseen mittaukseen perustuva takometri. Sen asentaminen ei ole niin tarkkaa kuin esimerkiksi kapasitiivisen takometrianturin, joka tunnistaa ja laskee kappaleen metallisen ulokkeen ohikulkemisen. Optinen takometri puolestaan havaitsee kauempaa esimerkiksi heijastavasta tarrasta syntyvän heijastuksen. Optisen anturin huonona puolena voidaan pitää huonoa toimivuutta pölyisissä ja likaisissa ympäristöissä. Taulukossa 5 on kahden valmistajan optisia takometreja pyörimisnopeuden mittaamista varten.

Taulukko 5. Optisia takometreja.

Valmistaja	Malli	Tyyppi	Output
Hydrotechnik [13]	RS 110	optinen	4..20 mA
Dewetron [24]	DS-TACHO2	optinen	0..5 V

Takometreillä ei ole toiminnallisia eroja. Ne eroavat toisistaan vain ulostulosignaalin perusteella.

4.2.6 Metallipartikkelianturi

Hiukkasantureilla voidaan tarkkailla öljyn mukana kulkevien hiukkasten määrää. Hiukkasten määrää laskevat anturit ovat kuitenkin kalliita, eikä niitä ole järkevä asentaa kiinteästi tarkkailemaan partikkelitasoa.

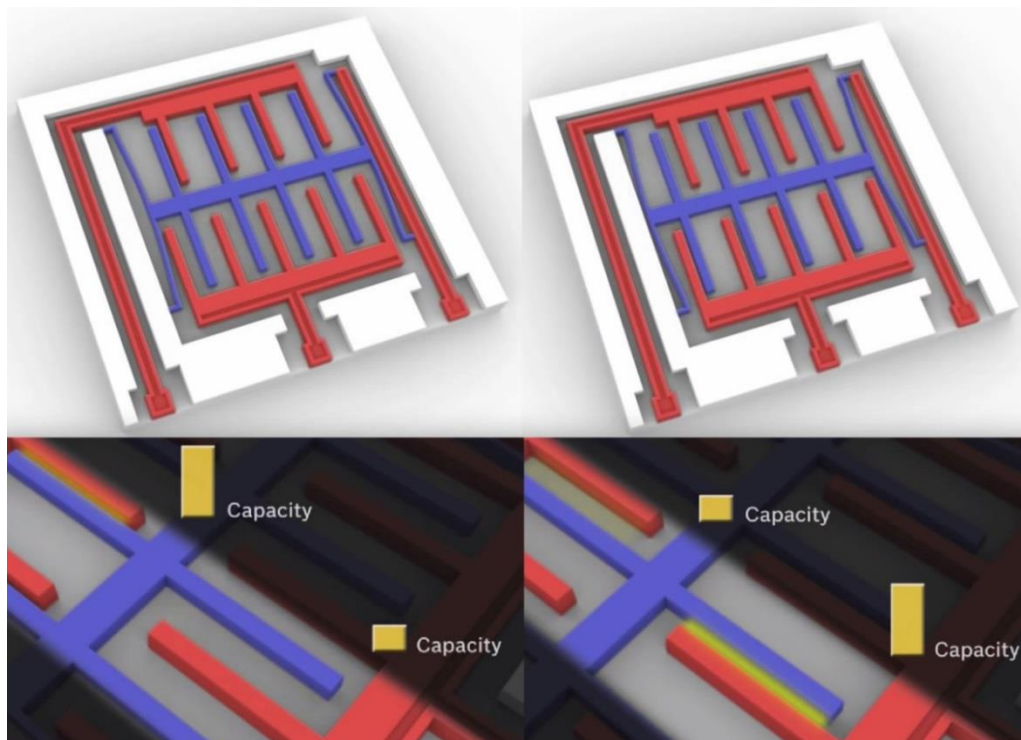
Vaihteistojen metallipartikkeleita on kuitenkin hyödyllistä tarkkailla, erityisesti ajovoi-
mansiiirron vaihteistoissa. Rikkoutuessa näistä irtoaa metallipartikkeleita, jotka voidaan havaita esimerkiksi Hydacin valmistamalla EY 1356 metallipartikkelianturilla. Kun anturin solenoidiin kertyy riittävä määrä sähköä johtavia partikkeleita, anturi kytkeytyy päälle. Se toimii kytkimen tavoin. Anturin lukemiseksi riittää jo yksinkertainen virtapiiri,

joka sytyttää esimerkiksi valon. Anturia on saatavilla monilla erilaisilla mekaanisilla kiinnityksillä. Näin se voidaan kiinnittää esimerkiksi vaihteiston magneettitulpan tilalle. Hydacin valmistaman anturin kytketyhmisherkkyttä ei kuitenkaan voida säätää.

4.2.7 Kiihtyvyysanturi

Kiihtyvyysanturilla voidaan mitata kappaleen kiihtyvyyttä, värinää ja värähtelyä. Kiihtyvyysantureiden toiminta perustuu jousen ja vaimentimen varassa liikkuvaan massa. Kun anturi liikkuu, sen sisällä oleva massa pyrkii pysymään paikoillaan. Massaan tulee kohdistaa Newtonin toisen lain mukaisesti voima, jotta massa saadaan kiihtyvään liikkeeseen. Massan ollessa kiinni jousessa, jousen tulee muuttaa muotoaan, jotta voi kohdistaa voiman massa. Vaimentaja estää massaa alkamasta värähtelemään jousen varassa. Pietrosähköisestä tai pietsoresistiivisestä materiaalista valmistettuna jousen muodonmuutos aiheuttaa sähköisten ominaisuuksien muuttumisen. Tämä voidaan mitata ja kiihtyvyys selvittää.

Anturi voi myös perustua kapasitiivisyyden muuttumiseen. Kuvassa 11 on esitetty Boschin valmistaman kapasitiivisen kiihtyvyysanturin toimintaperiaate. Sininen osa voi värähdellä yhden akselin suuntaisesti sen päätyjousien varassa. Värähdellessä poikittaisten palkkien etäisyys punaisten osien palkeista muuttuu. Palkkien välisen etäisyyden muuttuessa komponentin kapasitiivinen ominaisuus muuttuu. Tätä muutosta mittaamalla voidaan kiihtyvyys selvittää. [25]



Kuva 11. Boschin kapasitiivisen kiihtyvyysanturin toimintaperiaate. [25]

Metsäkonekäyttöön sopivaksi kiihtyvyyssanturiksi löytyi SKF:n valikoimista CMSS -mallin antureita. Taulukko 6 sisältää tietoja SKF:n kiihtyvyyssantureista.

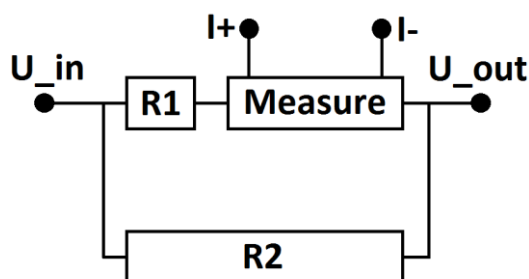
Taulukko 6. Kiihtyvyyssanturit.

Valmistaja	Malli	Alue	Herkkyys	Huom!
SKF [26]	CMSS 2200	± 80 g	± 10 %	Ei kaapelia
	CMSS WIND-100-10	± 50 g	± 15 %	10 m panssarikaapeli

WIND-100-10 -anturin koteloitinta ei ole niin vahvarakenteinen kuin 2200. Hinnaltaan anturit ovat samaa luokkaa, kun 2200:aan ostetaan kaapeli erikseen.

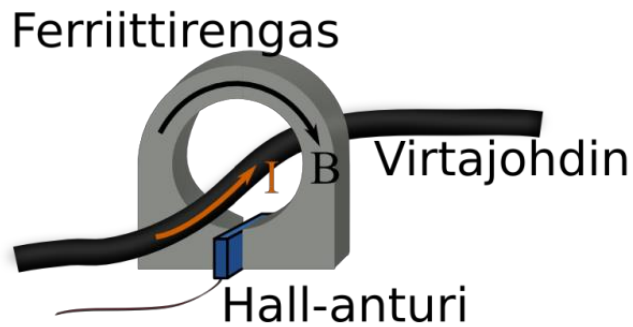
4.2.8 Virran mittaaminen

Metsäkoneessa venttiilien ohjauksen virran suuruus on 250...700 mA, mutta CAN-WLAN-moduuli voi mitata 4...20 mA virtoja. Siksi väliin tarvitaan muunnin. Helpoin tapa mitata virtaa on liittää virtamittari kuorman kanssa sarjaan. Kuvan 12 kytkentä voidaan kytkeä johtimeen U_{in} ja U_{out} pisteistä. Mittalaite kytketään $I+$ ja $I-$ pisteisiin. Vastukset $R1$ ja $R2$ jakavat virran haarojen kesken. Kyseinen kytkentä käy mittaukseen vain, jos sallitaan mittauksen vaikutus mitattavaan kohteeseen. Vastuksista syntyy piiriin jännitehäviö, joka puolestaan aiheuttaa tehohäviön. Tehohäviö puolestaan vaikuttaa käämin ja venttiilin toimintaan.

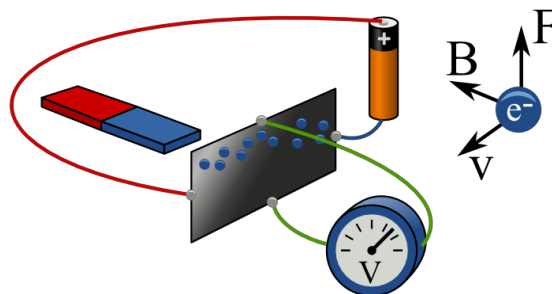


Kuva 12. Virranmittaukseen soveltuva vastuskytkentä.

Virran mittaaminen onnistuu myös vaikuttamatta mitattavaan piiriin. Käytettävä menetelmä perustuu magneettikenttään ja Hall-ilmiöön. Johtimessa kulkeva virta luo johtimen ympärille magneettikentän. Asettamalla magneettikenttään ferriittirengas ja Hall-anturi kuvan 13 mukaisesti, voidaan johtimessa kulkevan virran suuruutta mitata. Kuvassa 14 on esitetty Hall-anturin toimintaperiaate. [27]



Kuva 13. Hall-virtamittarin rakenne. [27]



Kuva 14. Hall-anturin toimintaperiaate. [27]

Anturin toimintaperiaate on yksinkertainen. Ferriittirengas ohjaa magneettikentän kulkemaan Hall-anturin läpi, jossa elektronien liikerata muuttuu magneettikentän voimakkuuden mukaan. Magneettikenttä muuttaa elektroneiden kulkusuuntaa johtimen toista reunaa kohti synnyttäen potentiaalieron johtimeen. Potentiaaliero voidaan mitata ja vahvistaa sopivaksi ulostulosignaaliksi. [27]

4.3 Metsäkoneeseen asennettavat seuranta-anturit

Jotta koneen kuntoa voidaan seurata ja havaita mahdollisesti syntyviä vikoja, tulee metsäkoneessa olla antureita tarkkailemassa koneen toimintaa. Antureiden on hyvä olla mahdollisimman laajan kriittisen järjestelmän kattavia, esimerkiksi ajovoimansiirtoa kannattaa mitata. Antureiden lisäksi kuljettajan ohjausta ja sen vaikutuksia hydraulikomponentteihin on hyvä seurata.

Ohessa on esitetty mahdollisia antureiden asennuskohteita. Liitteenä A on Scorpion-harvesterin hydraulikaaviot ja liitteenä B on H7-harvesteripään hydraulikaavio, joista näkyvät antureiden asennuskohteet vihreällä merkittynä. Myös kiinteiden antureiden sähköinen liitospaikka metsäkoneen moduuleihin on merkitty taulukkoon 7.

Taulukko 7. Kiinteästi asennettavien antureiden asennuskohteita.

Tyyppi	Tarkoitus	Anturin mittaus- alue	Mittapiste	Sähköinen rajapinta
Paine	Tuulettimen pumpun paine	60 MPa	Pumppu MA	CJ2:10
Paine	Ajovoimansiirron paine A	60 MPa	Pumppu MA	TJ4:12
Paine	Ajovoimansiirron syöttöpaine	10 MPa	Pumppu M3	TJ4:17
Paine	Ajovoimansiirron moottorin oh- jauspaine	60 MPa	Moottori M4	TJ4:18
Paine	Harvesteripään paine	60 MPa	Harvesteri lohko MP	HJ2:9
Lämpötila	Jäähdytintä ennen		Letku jäähdy- tintä ennen	SJ5:3
Lämpötila	Jäähdyttimen jälkeen		Letku jäähdytti- men jälkeen	SJ5:4
Metallipar- tikkeli	Jakovaihde		Jakovaihde	Merkkivalo
Metallipar- tikkeli	Tasauspyörästö		Tasauspyöräs- töt	Merkkivalo
Kiihty- vyysanturi	Jakovaihde, tasauspyörästöt			SJ5:5-6

Metsäkoneen tietojärjestelmän moduulit toimivat ARCNET-väylällä. Nämä ARCNET:n solmu-moduulit lukevat antureiden signaalit, muuntavat analogisen signaalit digitaaliseksi ja lähettävät ne ARCNET-väylälle. Väylältä Opti-tietokone lukee antureiden mitaukset ja tekee niille tarvittavat toimenpiteet.

Tuulettimen painetta seuraamalla saadaan selville jäähdytysjärjestelmän moottorin ja pumpun kunto. Kun tuulettimen painemittaus yhdistetään lämpötiloihin ennen ja jälkeen jäähdyttimen, saadaan jäähdytysjärjestelmästä tarkempi kuva. Tuulettimen pyörimisnopeus on verrannollinen tuulettimen paineeseen, mikä taas on verrannollinen liikkuvan ilman määrään. Ilmavirran määrä vaikuttaa puolestaan jäähdyttimen jäähdytystehoon. Keraamilla MVH:a paineesta, jäähdyttimen yli olevasta lämpötilaerosta ja imettävän ilman lämpötilasta, voidaan seurata jäähdytysjärjestelmän jäähdytyskykyä.

Tuulettimen painetta mittaamaan tulee asentaa vähintään 40 MPa:a kestävä paineanturi pumpun MA mittapisteeseen. Lisäksi jäähdytintä ennen ja sen jälkeen tulee asentaa öljylämpömittarit mittaamaan jäähdyttimen läpi kulkevan öljyn lämpötilamuutosta. Jäähdyttimen edessä sijaitsee lämpömittari tuloilman lämpötilan mittaamista varten.

Ajovoimansiirron järjestelmässä tulee seurata 60 MPa paineanturilla moottorin ohjaus-sylinterin ja pumpun painelinjan paineita. Myös suljetun piirin syöttöpainetta kannattaa mitata 10 MPa paineanturilla. Näitä ja moottorin pyörimisnopeutta seuraamalla, voidaan seurata ajovoimansiirron kuntoa toiseen suuntaan ajattaessa. Ajopaine kertoo ajovoimansiirron kuormituksesta pyörimisnopeuteen nähden.

Harvesteripään anturointina käytetään pelkästään paineen mittaamista. Harvesteripään LS-paineen mittaamista varten on valmiiksi asennettu paineanturi. Tätä anturia ei kuitenkaan käytetä muuhun kuin laitteen säätämiseen. Tämä anturi tulee ottaa käyttöön myös konetta käytettäessä, jolloin siitä saadaan toimilaitteiden LS-paineita selville.

Harvesteripumpulta pyydetään sähköisellä ohjaussignaalilla liikekohtaisesti oikea paine ja tilavuusvirta. Seurattaessa pumpun ohjausta ja painetta MVH:lla saadaan pumpun toiminnasta kuva. Jos esimerkiksi paine ei nouse riittävän nopeasti tai riittävästi työskenneltäessä, indikoi se vikaa pumpussa.

Kiinnittämällä metallipartikkelianturit jakovaihteeseen ja tasauspyörästöihin, voidaan havaita mahdollinen hammaspyörärikko ennalta ja välttää koneen jääminen metsään. Anturi aktivoituu, kun siihen kertyy tietty määrä metallipartikkeleita. Sillä ei seurata partikkeli-tasoa, vaan sillä havaitaan komponentin kunnan alentuminen tiettyyn pisteeseen.

Kiinnitettäessä kiihtyvyysanturin pyörivien hammaspyörien koteloihin voidaan näiden vaihteiden värähtelyä seurata. Värähtely muuttuu, kun pyörien massakeskipiste muuttuu pyörimisakseliin nähden. Kullakin hammaspyörällä on oma pyörimisnopeutensa ja näin myös oma värähtelytaajuutensa. Kiihtyvyysantureiden mittauksia voidaan käsitellä waveletin ja MVH:n avulla ja näin havaita jopa yksittäisen hammaspyörän hampaan vikaantumisen.

4.3.1 Luotavat moni—muuttuja diagrammit

Koneen toiminnan seuraamista varten tulee luoda useita MVH:ita. Kutakin järjestelmää varten tulee luoda ainakin yksi MVH, jotta voidaan selvittää tarkemman mittaamisen tarve. Taulukkoon 8 on kerätty eri järjestelmistä muodostettavia MVH:ita. Kaikkien muiden paitsi jarrujärjestelmän MVH muodostuu automaattisesti työskenneltäessä. Jarrujärjestelmälle tulee aina testata kuljettajan toimesta.

Taulukko 8. *Seurattavista muuttujista muodostettavat MVH:t.*

Järjestelmä	Multi-Variable Histogram muuttujat
Jäähdytysjärjestelmä	Ulkolämpötila – Jäähdyttimen yli oleva lämpötila ero
	Ulkolämpötila – Jäähdyttimen yli oleva lämpötila ero – Tuulettimen moottorin paine
Ajovoimansiirto	MA A-suunnan paine – Moottorin pyörimisnopeus
	MA A-suunnan paine – M6 syöttöpaine – Moottorin pyörimisnopeus
	Ajovoimansiirron nopeus pyyntö – MA A-suunnan paine – Moottorin pyörimisnopeus
	Moottorin ohjaus M4 – MA A-suunnan paine – Moottorin pyörimisnopeus
Harvesteripää	Puun halkaisija – (Aika terän vaihdosta) – Sahausaika
	Puun halkaisija – Syöttönopeus
	Syötön ohjauksen virtojen viikoittainen keskiarvo
	Harvesteripumpun painepyyntö – Harvesteripään paine
Nosturi	Kunkin liikkeen ohjauksen virtojen viikoittainen keskiarvo
Jarrujärjestelmä	Montako kertaa jarrua voi painaa 9 MPa ja 7 MPa välissä, diesel sammutettuna
	Kauanko kestää 7 MPa:sta 9 MPa:han nousemiseen

Taulukosta 8 nähdään kunkin järjestelmän seurattavat kohteet. Jäähdytysjärjestelmässä voidaan seurata jäähdyttimen yli olevaa lämpötilaeroa ulkolämpötilan suhteen. Tällöin hydraulipiirin toiminta jää seurannan ulkopuolelle. Jos tarkasteluun lisätään jäähdytyspiirin pumpun paine, saadaan mukaan myös tuulettimen ja hydraulipiirin kuntoseurantaa.

Ajovoimansiirrosta saadaan paljon tietoa paineita mittaamalla. Syöttömoottorin painemittauksella voidaan selvittää komponenttien vuotoja ja huuhteluventtiilin toimintaa. Moottorin ohjauksen painetta mittaamalla saadaan selvittyä moottorin kuntoa. Pumpun painetta seuraamalla voidaan seurata pumpun paineen ja moottorin momentin tuottoa. Moottorin ohjauksen, pumpun paineen ja pyörimisnopeuden MVH:lla seurataan kokonaisvaltaisesti järjestelmän toimintaa. A-suunnan paineen ja syöttöpaineen tarkkailulla pyörimisnopeuteen nähden voidaan seurata järjestelmän vuotoja ja öljyn kulutusta. Myös ajovoimansiirron ohjausta ja saavutettua nopeutta tarkkailemalla voidaan seurata järjestelmän kykyä toteuttaa haluttua ohjausta.

Harvesteripäästä voidaan luoda useita MVH:ita. Sahan ja sen moottorin kuntoa voidaan seurata tarkastelemalla sahausaikaa puunhalkaisijan mukaan. Terän terävyyden vaikutusta voidaan pienentää lisäämällä MVH:hon terän vaihdosta kulunut aika. Syöttömoottoreiden ja -rullien kuntoa voidaan arvioida puun halkaisijan ja syöttönopeuden mukaan. Puun halkaisijan avulla voidaan pienentää puun koosta johtuvien tekijöiden osuutta MVH:hon. Kun seurataan viikoittain syötön käsiohjauksen ohjausvirran keskiarvoa, voidaan arvioida syötön ohjausventtiilin ja moottoreiden kuntoa. Kaikissa edellä mainituissa tulee puulaji ottaa huomioon. Harvesteripään pumpun ohjauspyyntöä ja harvesteripään painetta seuraamalla voidaan pumpun kuntoa arvioida.

Nosturin hydraulipiiriin ei kannata asentaa antureita. Kuitenkin venttiilin ohjausvirtoja on hyvä tarkkailla. Niiden keskiarvoinen seuranta tietyllä aikavälillä, esimerkiksi viikoittain tai päivittäin, voi paljastaa toiminnallisen muutoksen järjestelmässä.

Jarrujärjestelmän seurannassa ei välttämättä tarvitse tehdä MVH:ta. Kone voi kerätä automaattisesti tietoa vain järjestelmän painekeytkimien paineiden välisestä nousuajasta. Tämäkin aika voi muuttua, jos kuljettaja tekee koneella muita toimintoja tai koneen öljyjen lämpötila ei ole oikea. Kuljettajan tulee toteuttaa aina polkimen polkeminen. Voidaan määrittää polkaisujen määrä, joka pitää pystyä polkemaan ilman järjestelmän alemman painerajan alittamista.

4.4 Huoltomiehen asentamat anturit

Huoltomies voi asentaa antureita useampaan paikkaan riippuen siitä, missä järjestelmässä vian epäillään olevan. Antureita asennetaan järjestelmään siten, että niiden avulla voidaan selvittää järjestelmän toimintaa mahdollisimman kokonaisvaltaisesti yhdellä testiajolla. Yhtäaikainen mittaus vaatii useita antureita. Kohteesta riippuen voidaan tarvita monen tyyppisiä antureita. Yleisin asennettava anturi on paineanturi. Näitä tulee olla useita ja eri mittausalueelle.

Taulukosta 9 nähdään huoltomiehellä peruskäytössä tarvittavat anturit. On helppo asentaa useita antureita mittamaan yhtä aikaa järjestelmän toimintaa. Tällöin arvoja voidaan helposti tulkita. Paineenkestoltaan 10 MPa paineantureita tulee olla vähintään kaksi. Kolmella anturilla saadaan mitattua kuitenkin kaikki vaadittavat mittapistet yhtä aikaa. Kolmatta anturia tarvitaan vain jäähdytys- ja jarrujärjestelmässä varmistamaan yhden komponentin paine. Kyseisiä paineita ei kuitenkaan ole välttämätöntä mitata järjestelmän kokonaistoiminnan kannalta.

Taulukko 9. Huoltomiehellä käytössä olevat anturit.

Tyyppi	Mittausalue	Kappalemäärä
Paineanturi	0-60 MPa	4
Paineanturi	0-10 MPa	2 (3)
Tilavuusvirta-anturi	0-600 l/min	1
Pyörimisnopeusanturi	-	1
Infrapunälämpötila-anturi	-	1

Jarrujärjestelmän toiminnan selvittämiseen tarvitaan neljä 60 MPa ja kolme 10 MPa anturia. Myös ajovoimansiirto vaatii neljä 60 MPa ja yhden 10 MPa anturin. Lisäksi kiinteästi asennetut 60 MPa anturit voidaan liittää CAN-WLAN -muuntimeen jännitettä mittaavaan liitäntään. Toinen vaihtoehto on lukea kiinteästi asennettujen antureiden mittaus tuloksia koneen omalta ARCNET-väylältä Opti-käyttöliittymän kautta. Näin nähdään kaikkien mittauksessa käytössä olevien antureiden tulokset yhdessä kuvaajassa.

Paineantureiden lisäksi huoltomies voi halutessaan asentaa järjestelmään tilavuusvirta-anturin. Se voidaan liittää mihin tahansa sopivaan linjaan tilavuusvirran seuraamista varten. Anturin asentamisessa tulee kuitenkin olla tarkkana ja ottaa huomioon virtaussuunta. Anturi voi vioittua väärän suuntaisessa virtauksessa.

Huoltomiehen asentamat paine- ja tilavuusvirta-anturit ovat CAN-antureita. Näin ne ovat helposti kytkettävissä yhdellä kaapelilla CAN-moduuliin, tässä tapauksessa CAN-WLAN -moduuliin. CAN-väylälle voidaan kytkeä helposti suuriakin määriä antureita. Lukevan moduulin input-porttien määrä ei rajoita CAN-antureiden määrää. Väylälle kytkettävien antureiden määrää rajoittuu käytössä olevien ID-tunnuksien määrään.

Paine ja tilavuusvirta-antureiden lisäksi huoltomiehen tulee joissain tapauksissa seurata pyörimisnopeutta takometrillä. Myös optisen lämpömittarin käyttäminen komponentin lämpötilan seuraamiseen on mahdollista. Näiden antureiden liittäminen järjestelmään tapahtuu analogisella virta- tai jännitesignaaleilla. Optisenlämpömittareita on saatavilla myös CAN-signaalilla.

5. VIAN PAIKANTAMISEN MITTAUSJÄRJESTELYT

Tässä luvussa kerrotaan metsäkoneella työskentelyn kannalta kriittisimpien kohteiden tarkemmasta mittaamisesta ja näiden mittausten tulkitsemisesta. Tarkempi kokonaisvaltainen mittausta tulee suorittaa, kun MVH tai muu seurantajärjestelmä näin vaatii.

Kokonaisvaltaisten mittausten perusteella on helppo selvittää viallinen komponentti. Aina tämä ei kuitenkaan ole selvitettävissä niin yksiselitteisesti. Joissakin tapauksissa voidaan tarvita parempaa tuntemusta koneesta. Tässä luvussa on pyritty esittämään syitä vikoihin, jotka aiheuttavat koneen epänormaalin toiminnan.

Koneen nopea, laaja ja helppo diagnosointi on hyvin tärkeää. Nopeasti suoritettujen vikojen diagnosoinnit vähentävät koneen seisonta aikaa ja urakoitsijan tulonmenetykset jäävät pienemmiksi. Lisäksi laajan testaamisen avulla voidaan välttää osien turha vaihtaminen ja täten turhat kustannukset.

Vaikka koneet on pyritty suunnittelemaan mahdollisimman samanlaisiksi, komponentti-kohtaiset erot voivat aiheuttaa eroja myös antureiden mittapisteiden nimeämisessä. Varsinkin vuosimallimuutokset johtavat muutoksiin antureiden mittauspisteissä. Nämä tulee tarkistaa samalla, kun tarkistetaan konekohtainen referenssiarvo. Taulukossa 10 on esitetty paineiden mittapisteitä eri järjestelmissä ja millä painealueen paineanturilla niitä tulee mitata. Taulukossa A on huoltomiehen asentama anturi ja K on kiinteästi koneessa oleva anturi. Taulukossa olevat mittapisteet ovat Scorpion-harvesterin (liite A) ja H7-harvesteripään (liite B) hydraulikaavioiden mukaan.

Taulukko 10. Huoltomiehen asennettavissa (A) olevia ja kiinteitä (K) paineantureita.

Selite	Mittauspiste	Alue [MPa]	
Cooling Circuit			
Jäähdyttimen öljyn paine	-	10	A
Tuulettimen paine A	MA	60	K
Tuulettimen paine B	MB	60	A
Tuulettimen pumpun ohjaus +	M5	60	A
Tuulettimen pumpun ohjaus -	M4	60	A
Tuulettimen pumpun ohjauksen tankkipaine	M14	10	A
Suljetun piirin syöttöpaine	M3	10	A
Drive Transmission			
Ajovoimansiirto +	MA	60	K
Ajovoimansiirto -	MB	60	A
Pumppu ohjaus +	M4	60	A
Pumppu ohjaus -	M5	60	A
Pumpun ohjauksen tankkipaine	M14	10	A
Moottori ohjaus +	M5	60	A
Moottori ohjaus -	M4	60	K
Suljetun piirin syöttöpaine	M6	10	K
Harvester Head & Crane Circuit			
Harvesteripumpun paine	MP1	60	A
Harvesteripumpun ohjaus +	M1	60	A
Harvesteripumpun ohjaus -	-	60	A
LS-paine	LS2	60	K
Lohkon paine	MP	60	K
13,5 MPa paineenalennusventtiili	MP2	60	A
3,5 MPa paineenalennusventtiili	MP1	10	A
Crane Circuit			
Pumpun paine	MP1	60	A
Pumpun ohjaus +	M1	60	A
Pumpun ohjaus -	- (A)	60	A
Nosturin paine	P2B	60	A
LS paine	PL	60	A
Esiohjauspaine	PS	10	A
Tankkipaine	T3B	10	A
Blocks			
Brake Pressure Load	MP4	60	A
Seisontajarrun paineenalennusventtiili	MP3	10	A
Työskentelyjarrun paineenalennusventtiili	MP2	10	A
Jarruventtiili	MP5	60	A
Jarruventtiili	MP6	60	A
Paineakku	MP10	60	A
Portaan noston paineenalennusventtiili	MP14	10	A

Joissakin harvesterimalleissa on oma hydraulipumppu nosturille ja harvesteripäälle. Jos näin on, nosturin pumpun kulman pienentävän paineen mittapiste on pumpun A-mittapiste.

Vikojen selvittäminen aloitetaan mahdollisimman helposti tehtävistä mittauksista tai havainnoista. Näiden avulla pyritään karsimaan mahdollisimman monta eri vaihtoehtoa pois. Vähitellen edetään tarkentaviin kohteisiin.

Vikapuu helpottaa vikojen selvittämistä. Kustakin järjestelmästä on esitetty vikapuu. Tietty asia **tarkistetaan**. Tarkistuksen tulokselle on annettu **→ vaihtoehdot**, joita seuraamalla saadaan joko uusi tarkistettava asia tai todennäköinen **vian aiheuttaja**. Vikapuu on pyritty rakentamaan siten, että tarvitaan mahdollisimman vähän tarkistuskohdeita vian löytämiseksi. Vikoja lähdetään karsimaan ensin mahdollisimman karkeasti ja vähitellen tarkennetaan oikeaan kohteeseen.

Vikapuuta ei tarvitse aina käyttää. Sitä voi hyödyntää, jos vika ei löydy helposti. Eikä vikapuukaan takaa vian löytymistä. Joissain tapauksissa on syytä turvautua huoltoneuvontaan.

Ennen anturoinnin asentamista ja vikapuun käyttöä, voidaan vikaa yrittää etsiä esimerkiksi infrapunalämpötila-anturin avulla. Komponentin vikaantuessa sen hyötysuhde huononee. Tämän vuoksi yhä suurempi osa komponenttiin tuodusta energiasta muuttuu lämmöksi. Komponentti voikin lämmetä selvästi enemmän vikaantumisen myötä. Erityisesti hydraulisissa komponenteissa virtausta kuristava kohta lämpenee virtausvastuksen vuoksi.

Äkillisen vian ilmetessä tulee koneen toimintaedellytykset tarkistaa ennen koneen testamista ja diagnosointia. On hyvä varmistaa, että koneella on mahdollista toimia niin kuin halutaan. Esimerkiksi portaiden asema vaikuttaa seisontajarrun ja ajovoimansiirron toimintaan. Jos portaat eivät nouse ylös tai sen havaitseva anturi on rikkoutunut, ei seisontajarru vapaudu ja kone ei liiku. Ennen antureiden asentamista on siis suotavaa tarkistaa ohjekirjan vaatimat edellytykset toiminnon toteuttamiselle.

5.1 Vika jäähdytysjärjestelmässä

Jäähdytysjärjestelmällä on oma jäähdytystehonsa. Viallinen komponentti jäähdytysjärjestelmässä laskee sitä. Näin koko metsäkoneen toimintalämpötila voi nousta korkeammaksi tai jäähdyttämiseen käytettävän tehon kulutus kasvaa johtuen jäähdyttimen tehottomuudesta. Kokonaan toimimaton jäähdytysjärjestelmä voi lamaannuttaa koneen toiminnan hyvin nopeasti koneen ylikuumetessa.

Jäähdytysjärjestelmän kunnan heikkenemisen voi huomata useista asioista. Sen kuitenkin huomaa viimeistään, kun tankin öljyn lämpötila on noussut liian korkealle. Aiemmin kunnan huononemisen voi huomata jäähdyttimen yli olevan lämpötilaeron pienenemisestä. Myös tuulettimen pyörityspaineen nouseminen indikoi vikaantumisesta järjestelmässä. Mikäli havaitaan jäähdytysjärjestelmän toiminnan huonontumista, on sen kuntoa syytä tutkia tarkemmin.

Lisämittauksia varten tarvitaan useampia paineantureita, myös tuulettimen tarkan pyörimisnopeuden selvittämiseksi tarvitaan takometria. Komponenttien ja letkujen lämpötiloja voidaan seurata infrapunälämpötila-anturilla. Viallinen komponentti voidaan löytää infrapuna-anturilla jo ennen muita mittauksia.

Jäähdyttimen tehoon vaikuttaa kennoston läpi kulkevan ilmavirran määrä sekä ilmavirran ja kennon lämpötilat. Mitä suurempi ilmanvirta on, sitä suurempi jäähdyttimen jäähdytysteho on. Lisäksi suuri lämpötilaero nesteen ja ilman välillä lisää jäähdytyksen tehoa.

Myös nestevirran määrä vaikuttaa jäähdyttimen toimintaan. Jos virtausnopeus on liian suuri, neste ei ehdi jäähtyä riittävästi virratessaan jäähdyttimen läpi. Jos neste virtaa liian hitaasti, ei jäähdyttimen läpi virtaa riittävän suurta nestemäärää. Jäähdyttimen läpi tulee siis virrata sopiva määrä nestettä, jotta jäähdytin toimisi kunnolla.

5.1.1 Antureiden asennuspaikat jäähdytysjärjestelmässä

Jatkuvalla seurannalla mitataan tuulettimen moottorin painetta, josta voidaan saada tieto tuulettimen pyörimisestä. Paineesta ei kuitenkaan saada selville tuulettimen tarkkaa pyörimisnopeutta. Pyörimisnopeutta on siksi hyvä mitata suoraan tuulettimen lavoista. Yhteen lapaan kiinnitetään heijastava tarra, jonka pyörähdysaikaa mitataan takometrillä. Pyörimisnopeudesta voidaan arvioida jäähdyttimen läpi virtaavan ilman nopeus ja määrää. Takometrin mekaaninen kiinnitys tulee sijaita alle metrin päässä heijastavasta tarhasta. Anturilla tulee olla optisesti esteetön näkymä lavan heijastustarraan.

Paineita tuuletinta pyörittävästä hydraulipiiristä tulee mitata useista mittapisteistä. Järjestelmä on suljettu, siksi sen kumpaankin painelinjaan tulee asentaa erikseen 60 MPa paineanturi. Pumpun ohjauspaineita varten tulee asentaa 60 MPa paineanturit ja suljetun piirin syöttöpainetta ja säätimen paluuvirtauksen painetta mitataan 10 MPa paineantureilla. Liitteenä A on jäähdytysjärjestelmän hydraulikaavio (Cooling circuit), josta nähdään antureiden mittapisteet punaisella rengastettuna.

Jos tilavuusvirta-anturi asennetaan suljettuun hydraulipiiriin, tulee varmistaa, ettei virtausta tapahdu turbiinityyppisessä anturissa väärään suuntaan. Virtaus väärään suuntaan voi vahingoittaa anturia. Öljyvirtauksen suunta tulee varmistaa oikeaksi pumpun ohjauksen avulla. Tuulettimen pyörimissuunta vaihtuu normaalisti automaattisesti välillä puhaltavaksi, jotta jäähdyttimen pintaan kertyneet roskat ja pöly saadaan poistettua. Mittauksen

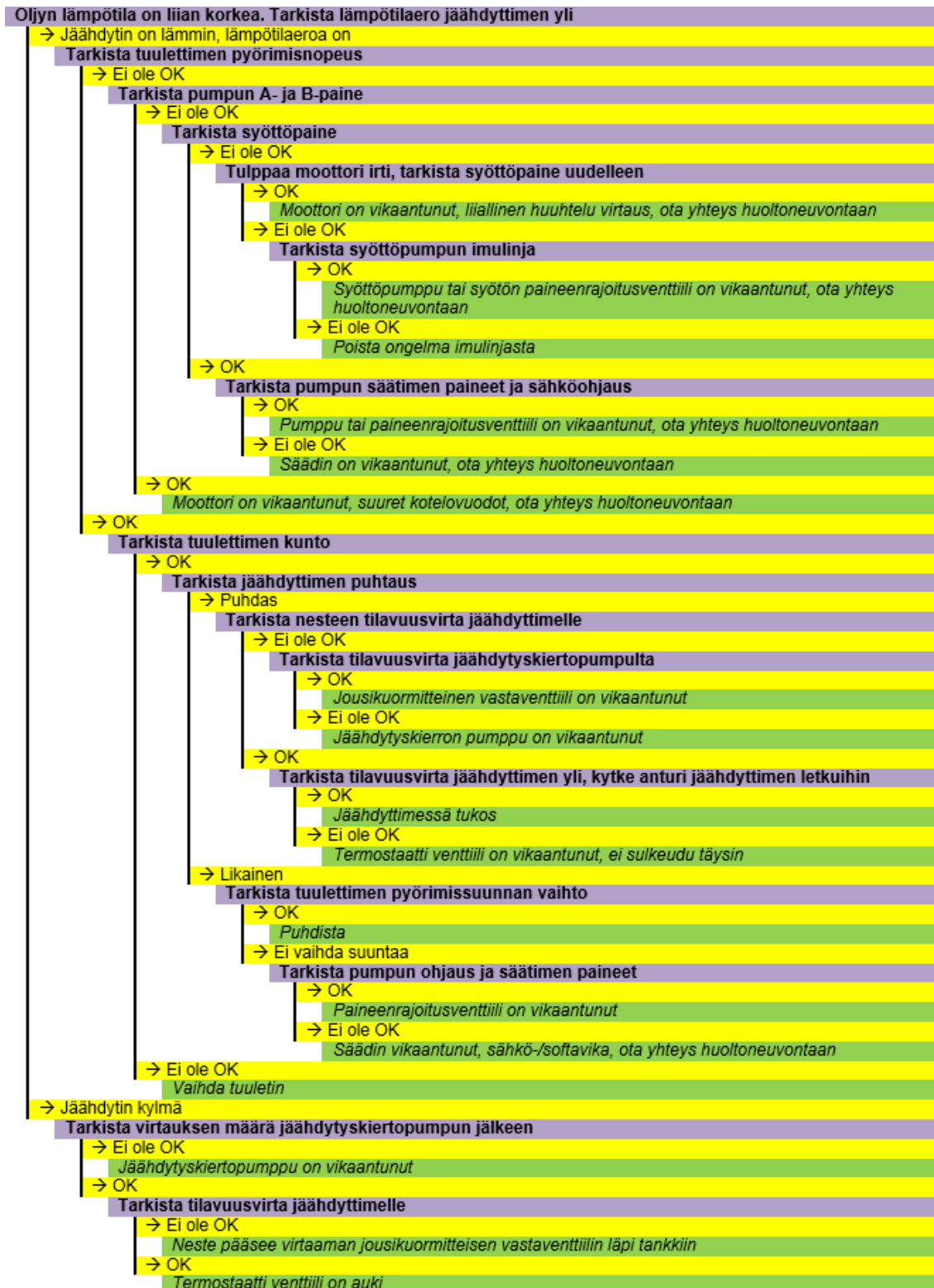
aikana käytetään pakotettua ohjausta, jolloin pumpun kulma ja pyörimissuunta eivät muutu.

Tilavuusvirta-anturin voi asentaa myös jäähdyttimen läpi kulkevan tilavuusvirran mittauksista varten jäähdyttimelle menevään letkuun. Anturi voidaan liittää jäähdyttimen kanssa sarjaan, jolloin varmistetaan 1 MPa vastaventtiili, ettei se päästä virtausta suoraan tankkiin ennen jäähdytintä.

5.1.2 Jäähdytysjärjestelmän mittausten tulkinta

Jäähdytysjärjestelmän toiminta riippuu monen erilaisen komponentin toiminnasta. Kuvassa 15 on esitetty vikapuu, jonka avulla voidaan selvittää vian syytä ja vikaantunutta komponenttia.

Jäähdytysjärjestelmän tarkempi tarkastelu aloitetaan, kun koneen öljyn lämpötila nousee liian korkealle. Ensimmäiseksi tarkistetaan, että tuuletin pyörii. Tämän varmistamisen jälkeen etsitään vikaa joko tuuletinta pyörittävästä hydrauliikasta tai jäähdyttimestä. Haaroissa edetään mahdollisimman yksinkertaisien ja paljon vaihtoehtoja karsivien mittausten kautta.



Kuva 15. Jäähdytysjärjestelmän vikapuu.

Kuvan 15 vikapuusta nähdään, että jäähdytysjärjestelmässä on useita erilaisia vikaantumismahdollisuuksia. Joidenkin vaihtoehtojen kohdalle jää useampia mahdollisia vika-kohteita, silloin syytä konsultoida huoltoneuvontaa.

Pumpun tai moottorin vikaantuessa vikapuu voi antaa tarkemman vian sijainnin komponentin sisällä. Yleensä on parempi vaihtaa koko komponentti. Esimerkiksi pumpun säätimen huolto vaatii ammattitaitoa ja riittävän puhdasta työympäristöä.

5.2 Vika ajovoimansiirrossa

Ajovoimansiirron pitkäaikaisten mittaustulosten tulkitseminen on haastavaa. Metsäkoneen kuorman ja nopeuden mukaan muuttuu ajovoimansiirron paineen ja tilavuusvirran tarve. Maaston muodot vaikuttavat kuorman lisäksi vaadittavaan momenttiin ja nopeuteen. Sen vuoksi on järkevää suorittaa testiajo tietyin väliajoin, jotta ajovoimansiirron kunto selviäisi tarkemmin. Testiajon aikana kiinteästi koneeseen asennetut anturit mittaavat samankaltaisissa olosuhteissa ja näin mittaustuloksia voidaan verrata luotettavammin. Jos tulokset ylittävät MVH:n toleranssit, tulee ajovoimansiirtoon asentaa lisäänturit ja suorittaa testiajo uudelleen.

Ennen antureiden asentamista tarkista, että ohjekirjan vaatimukset täyttyvät. Näin voidaan vika rajata todennäköisemmin ajovoimansiirtoon.

5.2.1 Antureiden asennuspaikat ajovoimansiirrossa

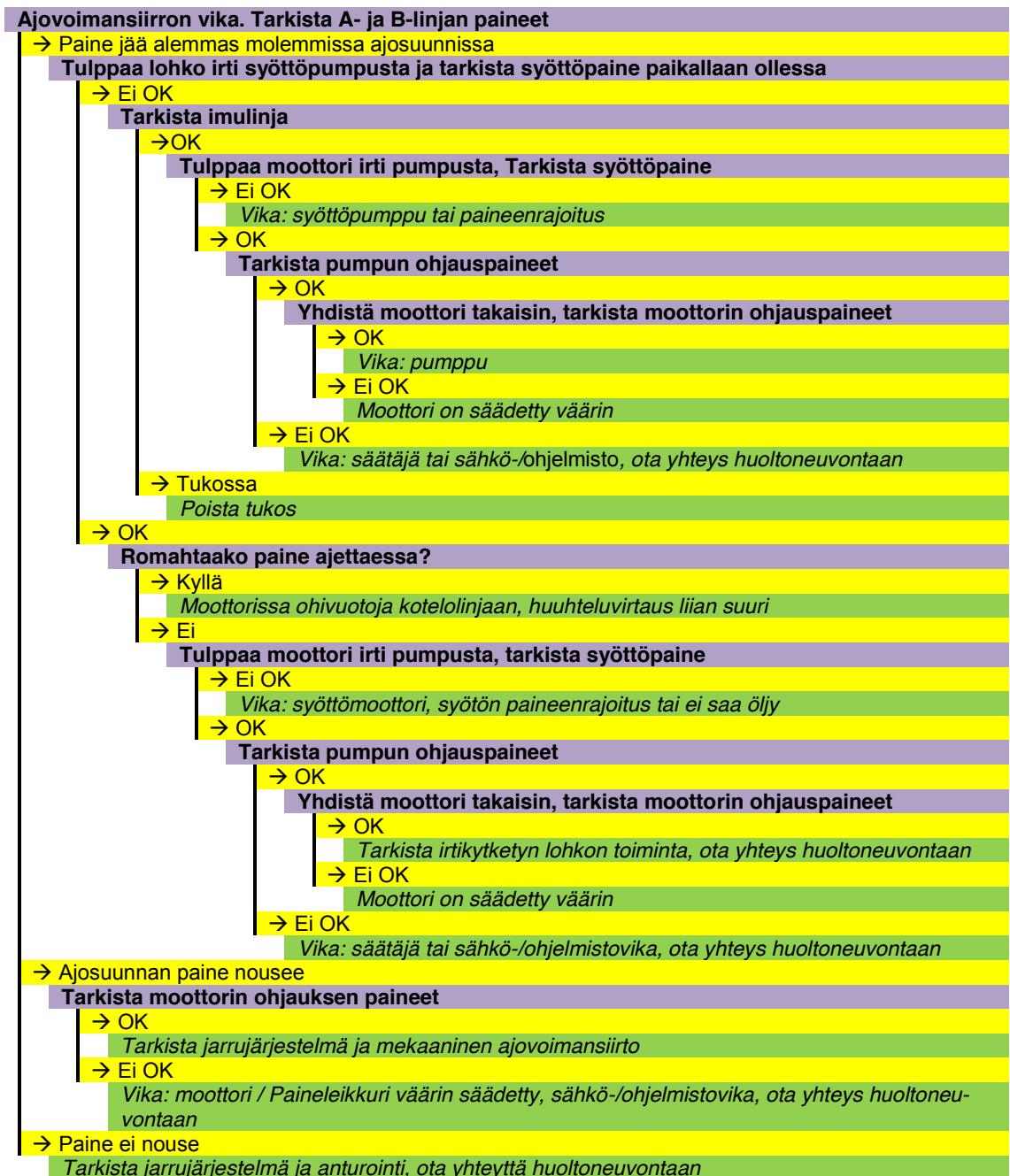
Kuten jäähdytysjärjestelmän mittaamisessa tulee myös hydraulisen ajovoimansiirron suljetun piirin paineita seurata useammasta mittapistestä. Kiinteästi mitattavia mittauspisteitä ovat ajovoimansiirrossa toisen ajosuunnan paine, syöttöpaine ja moottorin ohjauspaine. Näiden mittauspisteiden lisäksi tulee huoltomiehen asentaa lisääntureita siten, että saadaan selville pumpun ja moottorin kaikki ohjauspaineet sekä mittaamattoman ajosuunnan painelinjan paine. Edellä mainittujen paineantureiden tulee kestää 60 MPa, sillä ajovoimansiirron paineet nousevat jopa 45 MPa:iin. Myös suljetun piirin syöttöpainetta tulee seurata mittausten aikana. Syöttöpaineen mittaamiseen riittää 10 MPa:n paineanturi. Liitteessä A on merkitty antureiden mittapisteet punaisella ”Drive transmission” hydraulikaavioon.

Ajovoimansiirron hydraulipiirin painelinjaan voidaan asentaa myös tilavuusvirta-anturi, mutta tällöin tulee huomioda, ettei kuljettaja aja metsäkoneetta väärään suuntaan. Se aiheuttaa vastakkaissuuntaisen virtauksen tilavuusvirta-anturille ja voi vaurioittaa anturia.

5.2.2 Ajovoimansiirron mittausten tulkinta

Ajovoimansiirron järjestelmän mittauksien tulkintaa voidaan verrata jäähdytyspiirin tuuletinta pyörittävään hydraulipiiriin. Piirit eivät ole täysin samanlaisia, sillä ajovoimansiirrossa myös moottori on säätyvätilavuuksinen. Ajovoimansiirron syöttöpumpun tilavuusvirtaa käytetään koneen toimintoihin liittyvät koneen ajamiseen.

Kuvassa 16 on esitetty ajovoimansiirron vikapuu, jonka avulla voidaan vian aiheuttaja selvittää. Ensiksi tulisi tulpata muiden toimintojen lohko irti syöttöpumpusta. Näin varmistetaan, että vika on varmasti ajovoimansiirron hydraulipiirissä. Tämän jälkeen mitataan järjestelmän paineita. Painemittauksilla voidaan selvittää vian sijainti järjestelmässä.



Kuva 16. Ajovoimansiirron vikapuu

Vaikka järjestelmässä ei ole monia komponentteja, vikaantumiskohteita voi olla useita. Säättötilavuuspumpun ja -moottorin säätimien lisäksi myös muut venttiilikomponentit voivat vikaantua. Vika voi olla myös sähköisessä ohjauksessa.

5.3 Vika harvesteripäässä

Vika harvesteripäässä voi aiheuttaa koko hakkuuketjun työskentelyn keskeytymisen. Jos harvesteripää ei toimi oikein, harvesterilla työskenteleminen ei ole tehokasta tai ei voida työskennellä ollenkaan.

Harvesteripää sisältää useita toimintoja. Monia niistä ohjataan automaattisesti yhtä aikaa yhden napin painalluksella. Esimerkiksi syöttörullien ja karsintaterien painautuminen puuta vasten tapahtuu yhdellä napilla. Automatisoitujen toimintojen kunnonseuranta on mittauksilla vaikeaa. Toimintoja tulisi ajaa yksitellen, jotta mittaukset voitaisiin yksilöidä tietylle toiminnolle. Joissakin tapauksissa vika ei mahdollisesti ilmene yksittäisen toiminnon ohjauksella. Tällöin tulee harvesteripäätä mitata ohjauksella, jolla vika ilmenee ja mittauksia verrata toimivan vastaavanlaisen harvesteripään mittauksiin.

5.3.1 Antureiden asennuspaikat harvesteripäässä

Kun MVH indikoi vikaa tai jokin toiminto harvesteripäässä ei toimi, tulee sitä tarkastella tarkemmin. Lisäantureita voidaan asentaa harvesterilohkoon vain muutamisiin mittapisteisiin. Ennen lisäantureilla toteutettavia mittauksia tulee varmistaa, että harvesteripään toimintaedellytykset ovat kunnossa.

Harvesteripäässä on valmiiksi asennettuna LS-painetta mittaava paineanturi. Tämä anturi voidaan liittää CAN-WLAN -moduulin sisääntuloon. Lisäksi voidaan asentaa CAN-antureita. Painelinjaan ja ensimmäisen paineenalennusventtiilin jälkeistä painetta tulee mitata 60 MPa anturilla. Esiohjaus- ja tankkipainetta sekä vuotolinjan painetta voidaan mitata 10 MPa anturilla. Liitteessä B on merkitty antureiden mittapisteen H7-harvesteripään hydraulikaavioon.

Paineantureiden lisäksi harvesteripään tankki- tai painelinjaan voidaan asentaa tilavuusvirta-anturi. Testiajossa voidaan nähdä helposti tilavuusvirran kulutus ja laitteen teho, kun yhdistetään harvesteripään painetta mittaava paineanturi myös CAN-moduuliin.

5.3.2 Harvesteripään mittausten tulkinta

Vikaa automaattisten toimintojen sarjoissa voi olla vaikea selvittää. Automaattiohjaustilanteiden ohjaus- ja työskentelypaineet voivat olla erisuuriset kuin yksittäisellä käsiohjauksella toteutetun liikkeen paine. Tämän vuoksi vika voi jäädä syntymättä käsiohjauksella.



Kuva 17. Harvesteripään vikapuu.

Kuvassa 17 on esitetty harvesteripään vikapuu, josta voidaan selvittää vikojen syntyä. Harvesteripäässä monet viat voivat johtua sähköohjauksesta.

5.4 Vika nosturissa

Ohjausvirtojen keskiarvoseurannan tai kuljettajan havaintojen perusteella voidaan nosturin toimintaa tutkia tarkemmin. Jos vika ei ole helposti nähtävissä, voidaan nosturiin kytkeä antureita. Tulee kuitenkin varmistaa, että toimintaedellytykset nosturin toiminnalle täyttyvät.

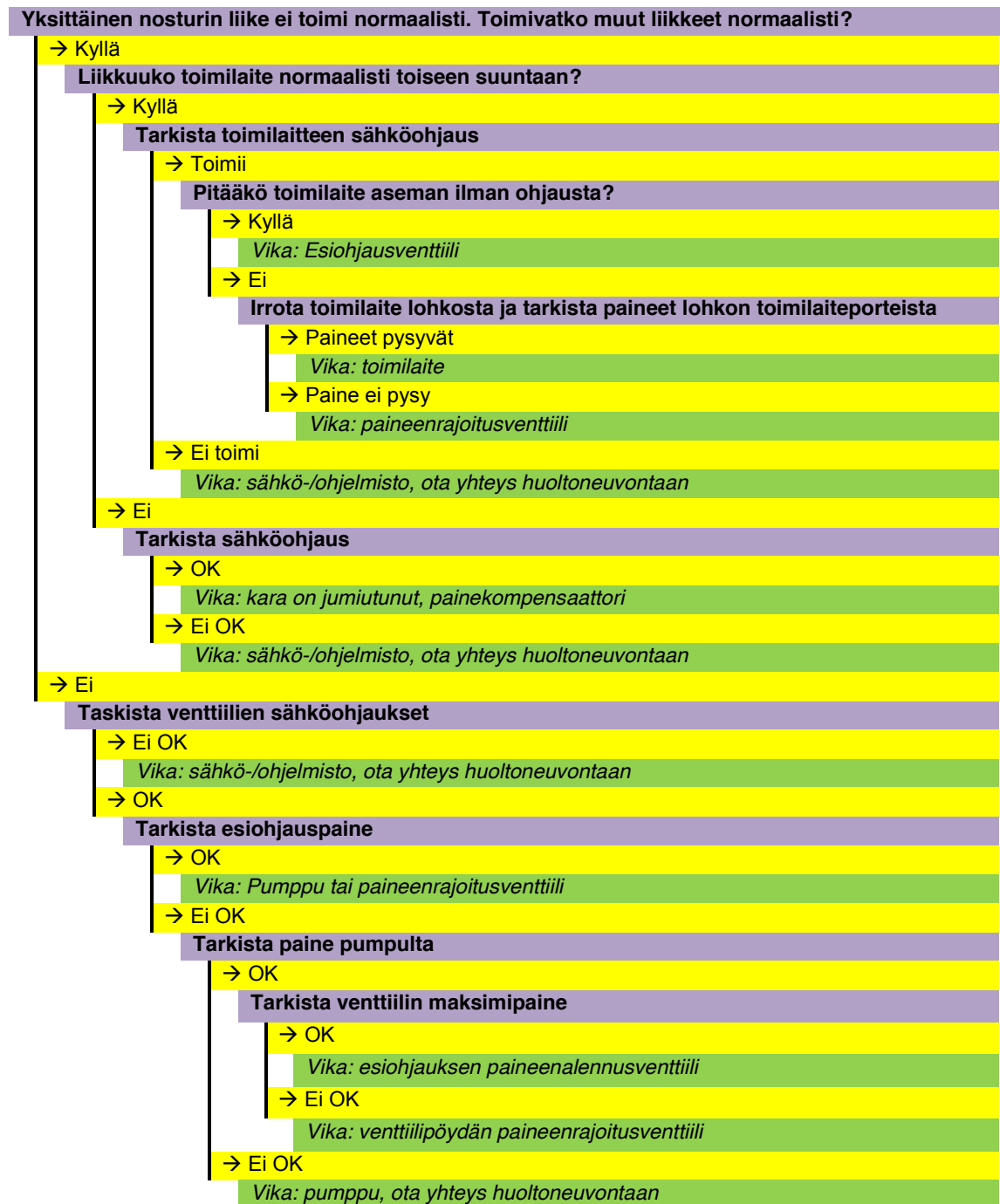
5.4.1 Antureiden asennuspaikat nosturissa

Pumpun toiminta voidaan helposti selvittää kiinnittämällä paineanturi pumpun painelinjaan ja pumpun ohjaussylintereiden paineet voidaan mitata erillisistä mittapisteistä. Painelinjaan voidaan liittää tilavuusvirta-anturi. Näin saadaan pumpun tuottama teho selville. Asennettavat paineanturit tulee olla yli 60 MPa:a kestäviä antureita.

Venttiilipöydästä voidaan tarkastaa painelinjan ja tankkilinjan paine sekä esiohjaus- ja LS-paine. Näiden paineiden avulla selviää venttiilipöydän toiminta liikkeen aikana. Paineantureiden asentaminen toimilaitteiden linjoihin ei ole välttämättä tarpeellista. Toimilaitteiden linjat voidaan joissain tilanteissa joutua tulppaamaan ja mittaamaan niistä painetta. Liitteessä A on merkitty antureiden mittapisteet ”Crane and harvester head circuit” hydraulikaavioon.

5.4.2 Nosturin mittausten tulkinta

Nosturi on yksinkertainen järjestelmä metsäkoneessa. Vika voi olla pumpussa, sähköisessä ohjauksessa, ohjausventtiilissä tai toimilaitteessa. Jos yksittäinen toimilaite ei toimi, rajaa tämä vian venttiilipöydän kyseisen toimilaitteen mobileventtiiliin ja toimilaitteeseen. Useiden liikkeiden toimiessa poikkeavasti on vika todennäköisesti pumpussa tai venttiilipöydän päätylohkossa. Kuvan 18 vikapuulla voidaan selvittää vian aiheuttaja nopeasti.



Kuva 18. Nosturin vikapuu.

Nosturin vikapuusta voidaan rajata vika nopeasti vikaantuneeseen komponenttiin. Vika rajataan ensiksi venttiilipöytään ja toimilaitteeseen tai nosturin pumppuun. Tämän jälkeen vian syytä tarkennetaan vähitellen oikeaan.

5.5 Vika jarrujärjestelmässä

Jarrupiirin toiminta on tärkeä turvallisuuden kannalta. Piiri on suunniteltu siten, että paineen laskiessa seisontajarru ja nosturin käännön jarru kytkeytyvät päälle. Paineen uudelleen noustessa voidaan jarrut vapauttaa.

Ennen antureiden asentamista tulee tarkistaa, että käyttöohjeen mukaiset vaatimukset jarrujen vapauttamiseksi tai kytkemiseksi täyttyvät. Toimenpide varmistaa, että jarrujen vikaa voidaan etsiä jarrujärjestelmästä.

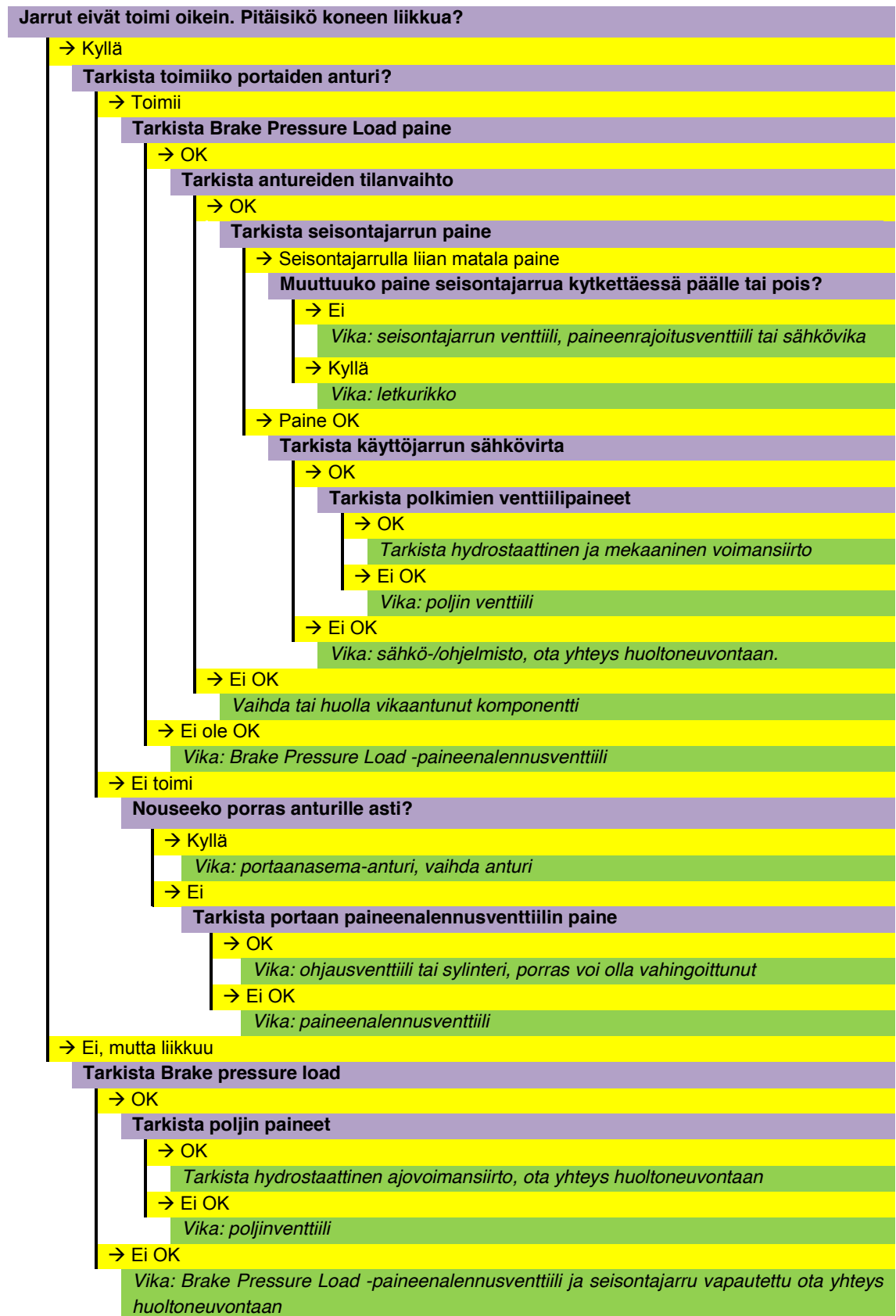
5.5.1 Antureiden asennuspaikat jarrujärjestelmässä

Jos mitataan jarrujärjestelmän toimintapaineita, tulee järjestelmään asentaa useita paineantureita. Liitteenä A on ”Blocks” hydraulikaavio, josta mitattavat mittauspisteet näkyvät punaisella.

Brake Pressure Load paineenalennusventtiilin, paineakun ja polkimien venttiilien mittaamiseen tarvitaan 60 MPa:n paineanturi. Työskentely- ja seisontajarrun paineenalennusventtiilin mittaamiseen riittää 10 MPa:n paineanturi. Muita antureita ei jarrujärjestelmän mittaamisessa tarvita. Halutessa voidaan myös portaiden nostopainetta mitata 10 MPa:n paineanturilla.

5.5.2 Jarrujärjestelmän mittausten tulkinta

Kuvan 19 vikapuusta nähdään, miten monimutkainen jarrujärjestelmän vian etsintä voi olla. Myös ajovoimansiirron toiminta vaikuttaa jarrujärjestelmän toimintaan ja päinvalvointiin. Kone ei voi liikkua, jos seisontajarru ei vapaudu.



Kuva 19. Jarrujärjestelmän vikapuu.

Jarrujärjestelmän mittausten tulkinta voi olla haastavaa. Järjestelmässä on paljon turvallisuuteen vaikuttavia tekijöitä, joiden tulee toimia oikein.

6. MITTALAITTEISTOJEN VERTAILU

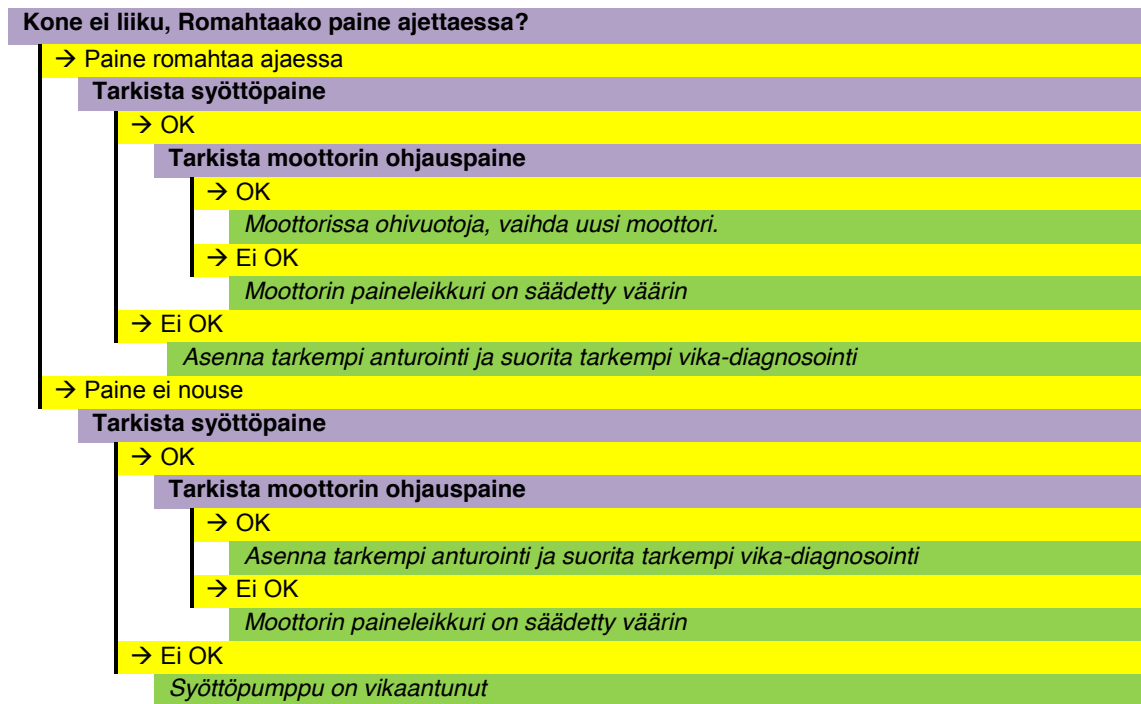
Tässä luvussa verrataan käytettyjä järjestelmiä vikojen etsinnässä tässä työssä esiteltyyn laitteistoon. Kaikilta osin tätä ei voida tehdä, sillä vanhat laitteistot eivät sisällä kaikkea, mitä uusi laitteisto tulisi sisältämään.

6.1 Kiinteästi asennetut anturit

Koneessa ei ole ennen ollut kiinteästi asennettua anturointijärjestelmää toimintaa seuraamassa. Tätä järjestelmää ei voida verrata aiempaan. Anturointia voidaan kuitenkin tarkastella yleisesti.

Antureita on asennettu sellaisiin järjestelmiin, mistä muuten ei saada helposti tietoa. Tällaisia ovat ajovoimansiirto ja jäähdytysjärjestelmä. Niiden toiminnasta ei olisi muuten mahdollista saada luotettavaa tietoa. Sähköisten liitäntäpaikkojen vähyyden vuoksi näitäkään järjestelmiä ei voida anturoida niin laajaksi kuin olisi tarpeellista. Suunnitellulla määrällä antureita voidaan selvittää kyseisien järjestelmien toimintaa riittävän laajasti.

Anturoinnin tarkoitus ei ole pelkästään seurata järjestelmien toimintaa. Niiden avulla voidaan selvittää myös mahdollisia vikoja järjestelmästä. Kuvassa 20 on esitetty ajovoimansiirrosta vikapuu, jossa selvitetään pelkästään kiinteiden antureiden avulla löytyviä vikoja.



Kuva 20. Ajovoimansiirron kiinteällä anturoinnilla selvitettävät viat.

Kuvan 20 vikapuusta nähdään, että kolmella anturitiedolla saadaan kuusi eri lopputulosta, joista kaksi on vikoja, kaksi säätövirhettä ja kaksi vaatii tarkemman anturoinnin asentamista.

Edetessään syöttöpumpun vika aiheuttaisi ajovoimansiirron lamaantumisen ja näin koneen liikuntakyvyttömyyden. Ajoissa havaittuna vika voidaan korjata sopivassa paikassa. Näin voidaan minimoida korjaukseen kulunut aika ja kustannukset sekä ehkäistään lisävauriot.

Kuljettajan käsiohjauksen seuraaminen voi paljastaa muutoksen järjestelmän toiminnassa. Ei siis välttämättä tarvita anturointia paljastamaan järjestelmän poikkeavaa toimintaa.

Seurantajärjestelmän hyötyjä on useita. Koneen huollontarvetta voidaan arvioida tarkemmin seuraamalla järjestelmän toimintaa. Määräaikaishuoltojen yhteydessä voidaan vaihtaa myös mahdollisesti pian vikaantuvia komponentteja. Erityisesti koneen ajovoimansiirron kuntoa seuraamalla voidaan välttää koneen liikuntakyvyttömyys ja metsästä pois hinaaminen. Keskittämällä huollot ja korjaukset samanaikaisesti korjaamolle voidaan koneen seisonta-aika minimoida.

6.2 Huoltomiehen asentama anturointilaitteisto

Huoltomiehillä on käytössä monenlaisia mittalaitteistoja. Yleisin on Parkerin valmistama Service Master. Laitteistoon voidaan liittää erityyppisiä antureita, versiosta riippuen maksimissaan kuitenkin 16 kappaletta.

Uudella laitteistolla antureiden määrää ei käytännössä ole rajoitettu. CAN-väylä ei käytännössä rajoita antureiden asennusmäärää CAN-WLAN-moduuliin. Jokaisella viestillä tulee olla oma ID, joka kuvaa viestin tärkeyttä. Anturit luokitellaan tärkeysjärjestykseen ja jokaiselle annetaan oma ID. Perus standardin mukaisessa CAN-viestissä ID-kenttä koostuu 11-bitistä eli vaihtoehtoja on 2^{11} eli 2048 kappaletta. ID-määrä ei siis tule rajoittamaan antureiden määrää. Useimmissa CAN-moduuleissa on myös analogisia sisään-tuloja, joihin voi kytkeä analogisia antureita.

Vanhoissa mittalaitteissa kaikki viestit kulkevat analogisina signaaleina. Jokaiselle anturille tulee olla oma kaapeli mittalaitteelta. Kaapeleita voi tämän vuoksi kertyä useita kymmeniä metrejä. Antureiden erottaminen mittalaitteella tulee ongelmalliseksi kaapeloinnin sotkeentuessa.

Uuden laitteiston CAN-anturit voidaan liittää yhteen pääkaapeliin, josta vedetään pistohaaroja jokaiselle anturille. Näin kaapeloinnin tarve vähenee huomattavasti. Lisäksi akullinen CAN-WLAN -moduuli voidaan sijoittaa anturoinnin läheisyyteen lukemaan mittauksia. Mittaukset voidaan lukea moduulilta WLAN:nin välityksellä esimerkiksi koneen hytissä. Antureiden tunnistaminen onnistuu helposti niiden lähettämän viestin perusteella. Näin sekaannukset mittauksissa häviävät lähes kokonaan. Uusimpiin valmiisiin mittalaitteipaketteihin on mahdollista liittää myös CAN-antureita, mutta ne ovat suunniteltua mittalaitteistoa kalliimpia.

Valmiisiin mittalaitteistopaketteihin on vaikea liittää muiden valmistajien antureita tai muun tyyppisiä antureita kuin mitä siihen on valmiina saatavissa. Nämä ongelmat poistuvat CAN-antureita käyttämällä. Anturit lähettävät mittaustulokset standardimuotoisena CAN-viestinä väylälle, josta se voidaan lukea. Standardimuotoisen viestin tulkinta onnistuu päätelaitteella helposti, koska kaikkien standardia käyttävien antureiden viestit ovat samanlaisia.

Lisäksi uuteen laitteistoon kuuluu lisääntureita, joita ei löydy valmiista paketeista. Esimerkiksi infrapunalämpötila-anturi voidaan lisätä CAN-moduuliin. Anturia löytyy niin CAN- signaalilla kuin analogisella signaalilla. Valmiissa mittalaitteistoissa lämpötila-anturi on yleensä kosketuksen vaativa.

Uusi laitteisto antaa mahdollisuuden yksittäisten osien vaihtamiseen helposti esimerkiksi toisen valmistajan tai eritasoiseen tuotteeseen. Mikään ei sido käyttäjää vain yhden valmistajan tai tason tuotteeseen. Laitteisto on siis huomattavasti joustavampi kuin käytössä olevat mittalaitteistot. Ainoa rajoitus voi olla CAN-tyyppisien antureiden vähyys ja analogisten antureiden liitännämahdollisuudet moduuliin.

Koska uuden mittalaitteiston toiminta on mahdollista myös WLAN:nin välityksellä, huoltomiehen päätelaitteen ei tarvitse olla mikään tietty laite. Laitteistoon ei tarvitse välttämättä sisällyttää edes päätelaitetta, sillä mille tahansa laitteelle ja käyttöjärjestelmälle voidaan tehdä sovellus, jolla voidaan lukea antureiden mittauksia WLAN:in välityksellä.

Tällöin laitteistolla ei ole riippuvuutta vain yhden päätelaitteen ominaisuuksista. Päätelaitteena voi olla kannettava tietokone, tabletti tai älypuhelin. Mittaustuloksien näyttämiseen on ollut vaihtoehtona myös erilliset älylasit. Mahdollisuudet ovat lähes rajoittamattomat.

Tuloksien analysointia ja vian paikantamista voidaan myös automatisoida päätelaitteella sovelluksien avulla. Automatisoidun sovelluksen toiminta perustuisi vikapuu-malliin. Se voi antaa automaattisen vikasijainnin antureiden mittaustulosten perusteella. Tämän jälkeen sovelluksesta voidaan siirtyä suoraan varaosapalveluun tilaamaan varaosaa, kun syötetään riittävät metsäkoneen tiedot.

7. JOHTOPÄÄTÖKSET

Tämän työn tarkoituksena oli tutkia ja suunnitella metsäkoneen kuntoa valvova anturointijärjestelmä. Tarkoituksena oli tutkia sekä jatkuvasti koneen kuntoa seuraavia antureita ja asennuspaikkoja että menetelmiä, millä koneen toimintaa voidaan seurata. Lisäksi työhön kuului suunnitella huoltomiehelle mittalaitteisto, jonka avulla pystytään koneesta paikantamaan vika nopeasti ja helposti.

Työ aloitettiin perehtymällä metsäkoneen toiminnan kannalta tärkeisiin hydraulijärjestelmiin ja huolto-ohjeisiin. Perustietoihin perehtymisen jälkeen alkoi syvempi perehtyminen työhön soveltuviin antureihin. Sopivien antureiden löydyttyä tuli näiden valmistajilta kysellä tarjouksia antureiden hinnoista. Saatujen tarjousten perusteella tilattiin CAN-paineantureita ja CAN-WLAN -moduuli koekäyttöä varten.

Suunniteltua laitteistoa ei työn aikana ehditty saada valmiiksi ja testata edes pienessä laajuudessa aikataulun takia. Näin ei voida arvioida laitteiston toimivuutta käytännössä. Toimivuuden arvioimiseksi vaaditaan laajempi testaaminen ja käyttökokemuksia laitteistoista eri konemalleissa ennen kuin työn tulosta voidaan arvioida.

Suunniteltu laitteisto täyttää asetetut vaatimukset. Koneeseen ei tarvitsisi tehdä suuria muutoksia järjestelmän käyttöönottamiseksi. Suurin työ olisi mittaustulosten kerääminen ja antureiden kytkeminen koneen omaan tietojärjestelmään. Tulosten keräämistä varten koneen tietojärjestelmään tulisi muokata siten, että se lukee, tallentaa ja tulkitsee lisättyjä seuranta-antureita.

Huoltomiehelle suunnatun laitteiston antureita on saatavilla yleisiltä markkinoilta. Hinnaltaan laitteisto jää suunniteltuun 3 000 – 4 000 € hintaluokkaan. Lopullinen hinta riippuu suuresti CAN-WLAN -moduulin valinnasta. Kuitenkin kalliimmallakin käyttöön soveltuvalla moduulilla hinta on samaa luokkaa kuin valmiiden mittalaitteistojen hinta.

Suurin vaikutus järjestelmän käyttökokemukseen ja toimivuuteen on ohjelmistollinen toteutus. Siihen tuleekin kiinnittää huomioita, että käyttöliittymä on sovelluksissa mahdollisimman yksinkertainen ja helppokäyttöinen sisältäen riittävän määrän ominaisuuksia.

Anturointijärjestelmän hyödyt eivät rajoitu pelkästään vikojen etsimiseen. Antureita voitaisiin hyödyntää myös koneen älykkäämmän ohjauksen luomiseen. Hieman laajemman anturoinnin avulla koneen ohjausta ja käyttäytymistä voitaisiin seurata laajasti. Tällöin koneen työskentelyä voitaisiin tehostaa ja energiankulutusta pienentää.

Esimerkiksi ajovoimansiirron antureita voitaisiin hyödyntää koneen liikkumista selvitetäessä. Esimerkiksi koneen vierintävastusta ja kuormaa voitaisiin arvioida pyörimisnopeudesta ja ajopaineesta. Näiden tietojen avulla voitaisiin koneen ajovoimansiirron ohjausta kehittää energiatehokkaammaksi ja ympäristöystävällisemmäksi.

Tuulettimen pyörityspainetta säätelämällä voitaisiin jäähdyttimen tehoa säädellä vaikuttaen öljyn lämpötilaan järjestelmässä. Järjestelmän painetta ja jäähdyttimen lämpötiloja tarkkailemalla voitaisiin jäähdyttimen tehon käyttöä optimoida. Näin jäähdytysjärjestelmästä saataisiin energiatehokkaampi.

Ohjelmiston muokkaaminen anturoinnin ja kunnon seurantaan voi johtaa monimutkaiseen vanhan ohjelmiston räätälöintiin. Kaikkia haluttuja ominaisuuksia ei välttämättä voida toteuttaa tai ne voivat olla hankalasti toteutettavissa vanhassa ohjelmistossa. Tällöin voisi olla helpointa suunnitella kokonaan uusi ohjelmisto uusien ja vanhojen toimintojen vaatimuksille. Ohjelmiston uudelleen suunnittelu voi viedä vähemmän aikaa kuin vanhan ohjelmiston räätälöinti uuteen tarkoitukseen.

Anturointijärjestelmillä ei olisi huomattavia haittapuolia. Se ei vaikuttaisi koneen muuhun toimintaan. Vain virheelliset vikailmoitukset voisivat häiritä kuljettajaa anturin vikaantuessa. Anturoinnin hyödyt olisivat monta kertaa suuremmat kuin sen haitat. Kustannuksiltaan se olisi myös minimaalinen siihen nähden mitä hyötyjä ja säästöjä sen avulla voitaisiin saavuttaa.

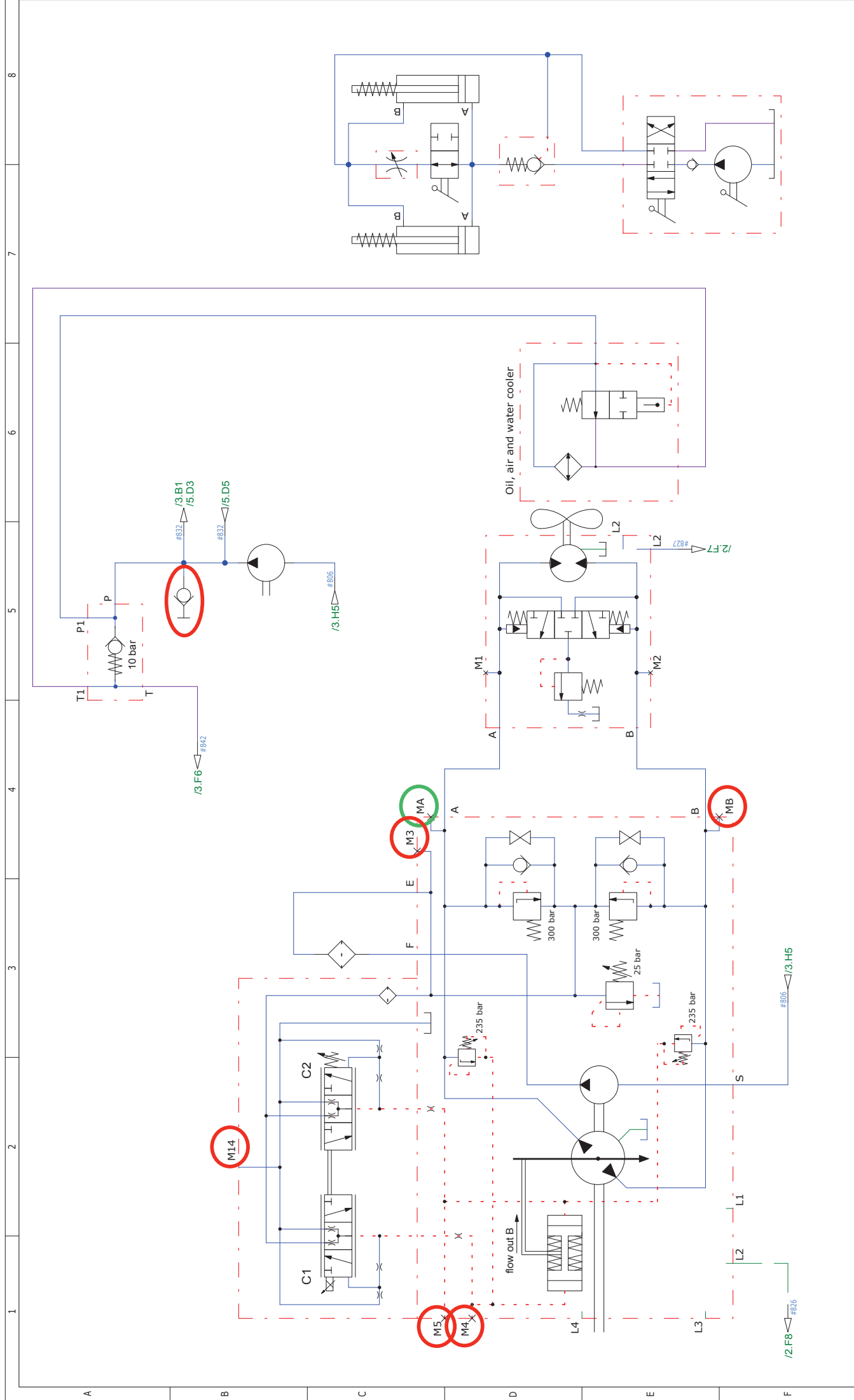
LÄHTEET

- [1] Ponssen tarina vuodesta 1970 [www], Ponsse Oyj, viitattu 25.11.2015, saatavissa <http://www.ponsse.com/fi/ponsse/historia>
- [2] H. Kauranne, J. Kajaste, M. Vilenius, Hydrauliteknikka, WSOY Opintomateriaalit Oy, 2008, s. 24, 84-85, 143-150, 200-203, 472-473, 476-478
- [3] S. Kivioja, S. Kivivuori, P. Salonen, Tribologia – Kitka, kuluminen ja voitelu, Gaudeamus Helsinki University Press, Oy Yliopistokustannus, 1997, s. 43-45, 100-114
- [4] Nurmi J., Mattila J., Detection and Isolation of Leakage and Valve Faultsin Hydraulic Systems in Varying Loading Conditions, Part 1: Global Sensitivity Analysis, International Journal of Fluid Power, 21.1.2014, s. 48
- [5] Rinkinen J., Koivula T., Experiences and Proposals for Condition Monitoring Methods of Hydraulic Valves, Conference on Maintenance, Condition Monitoring and Diagnostic, Oulu, 2005, s. 117-131
- [6] Kivelä T., Mattila J., Internal Leakage Fault Detection For Variable Displacement Axial Piston Pump, Symposium on Fluid Power & Motion Control, 10/2013
- [7] Hydraulikan Mittauslaitteet, Parker Hannifin Corporation, 2005, s. 16 – 50
- [8] Instruments [www], Hydrotechnik GmbH, viitattu 23.6.2015, saatavissa <http://www.hydrotechnik.com/en-uk/products/instruments/>
- [9] WBC Full Manual, Electrum Automation AB [verkkodokumentti], Oct. 2015, s. 5-11, 47-49, viitattu 25.8.2015, saatavissa <http://electrumab.se/GetPdf/?product=WCB>
- [10] CAN-WLAN • CAN Bus Daten einfach drahtlos übertragen[www], CAEMAX Technologie GmbH, viitattu 3.9.2015, www.caemax.de
- [11] Technical description MX-4 GTT [sähköpostiesite], HOST Mobility, Oct. 2013
- [12] Jhumar display device for Ponsse [sähköpostiesite], Espotel Oy, 2015
- [13] What is a Linear Variable Differential Transformer (LVDT)?, The Industrial Automation and Mechatronics Portal [www], viitattu 16.11.2015, saatavissa <http://iamechatronics.com/notes/process-measurement/191-what-is-a-linear-variable-differential-transformer>

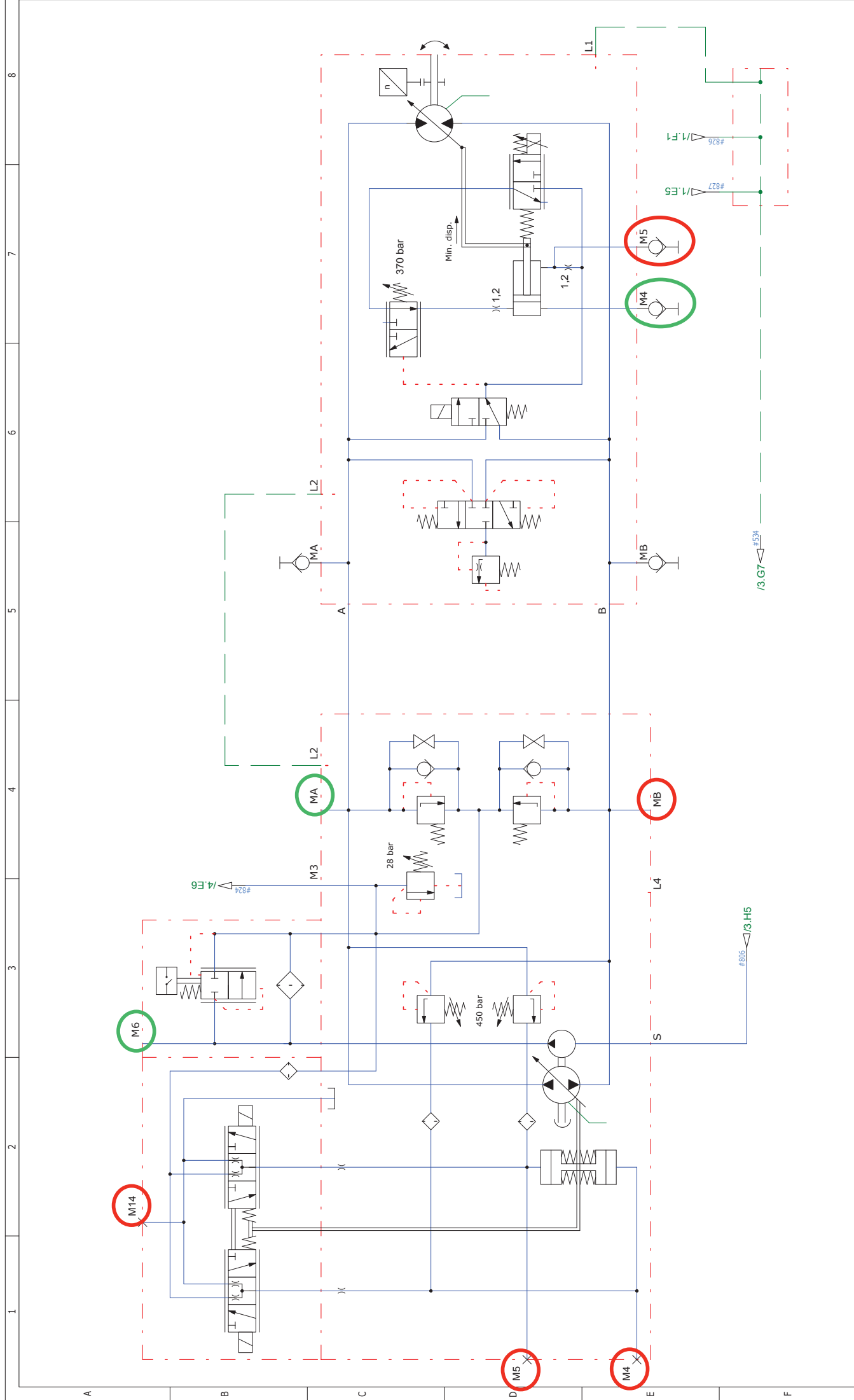
- [illegible]

- [26] CMSS 2200 / CMSS 2200-M8, SKF [sähköpostiesite], viitattu 29.7.2015, s. 21-22, saatavissa <http://www.skf.com/binary/21-48549/CM-P1-11604-12-EN-Vibration-Sensor-Catalog.pdf>
- [27] Hall-anturi [www], kompo2010, viitattu 24.11.2015, saatavissa <https://kompo2010.wikispaces.com/§Hall-anturi>

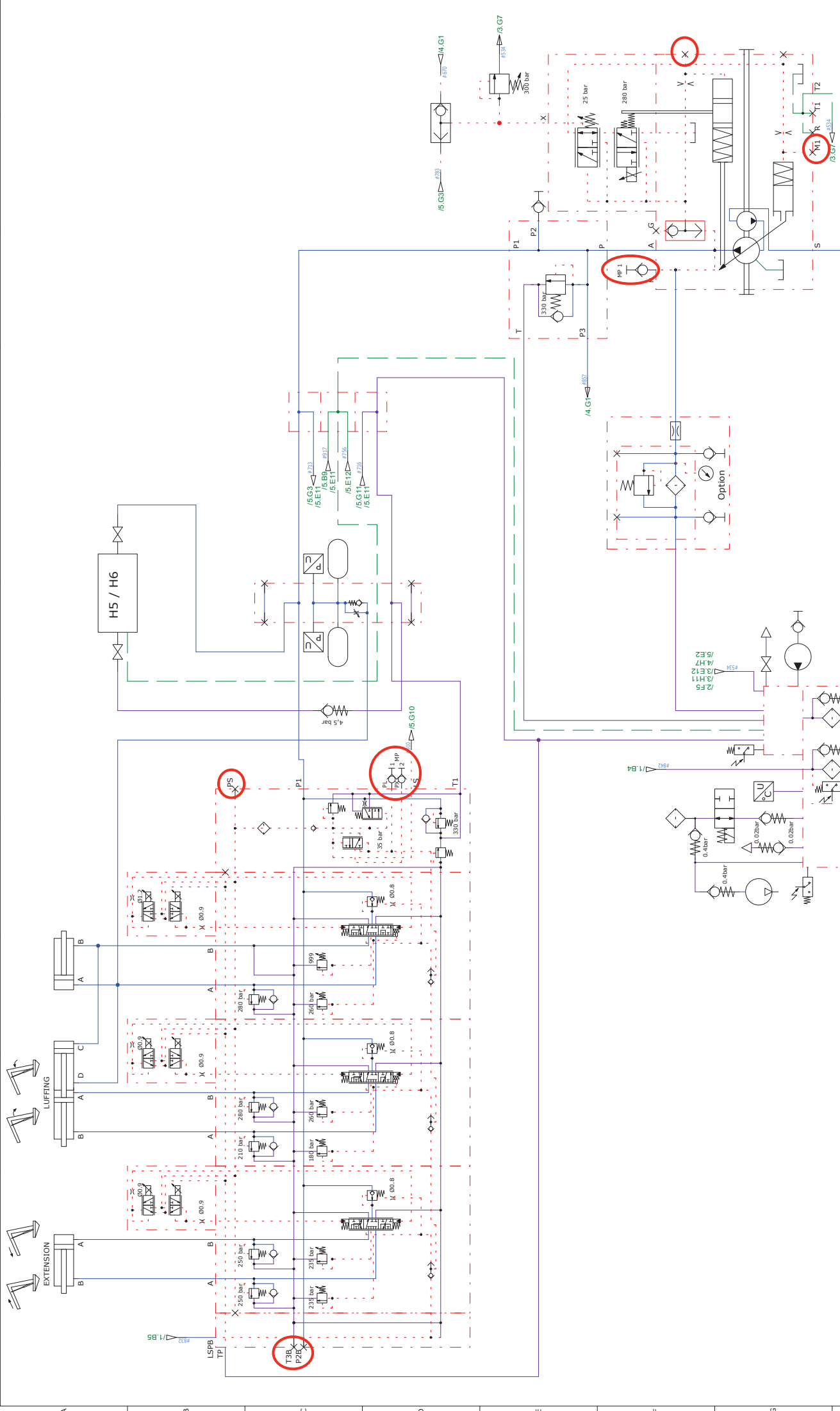
LIITE A: SCORPION HYDRAULIKAAVIO

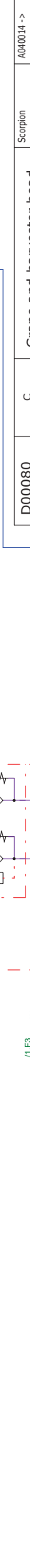
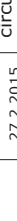


Copyright © Ponsse Oyj			1			2			3			4			5			6			7			8		
Date 27.2.2015			Description 1			Model			Machine number			A040014 ->			Drawing number			D00080			1 / 5			Sheet		
Creator Evelvi			Revision C			Approved			HL			Loc			HL			Loc			1 / 5			Sheet		

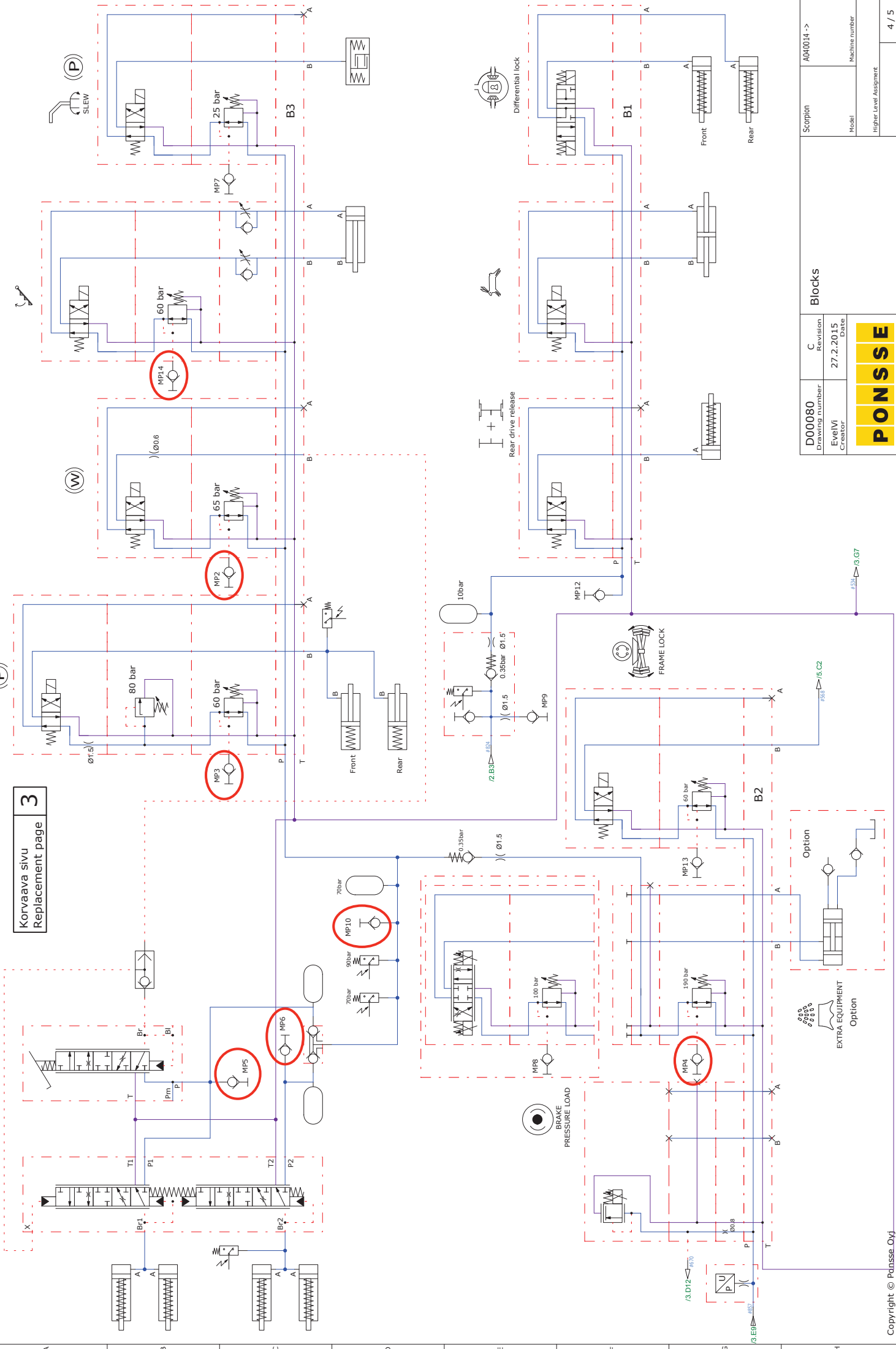


Date 27.2.2015			Description 1			Machine number		Drawing number	
Creator EvelVi			Model			A040014 ->		D00080	
Approved			Scorpion			Loc		HL	
Revision C			6			7		2 / 5	
			5			Machine number		Loc	
			4			7		2 / 5	
			3			Machine number		Loc	
			2			7		2 / 5	
			1			Machine number		Loc	
			8			7		2 / 5	
			7			7		2 / 5	
			6			7		2 / 5	
			5			7		2 / 5	
			4			7		2 / 5	
			3			7		2 / 5	
			2			7		2 / 5	
			1			7		2 / 5	



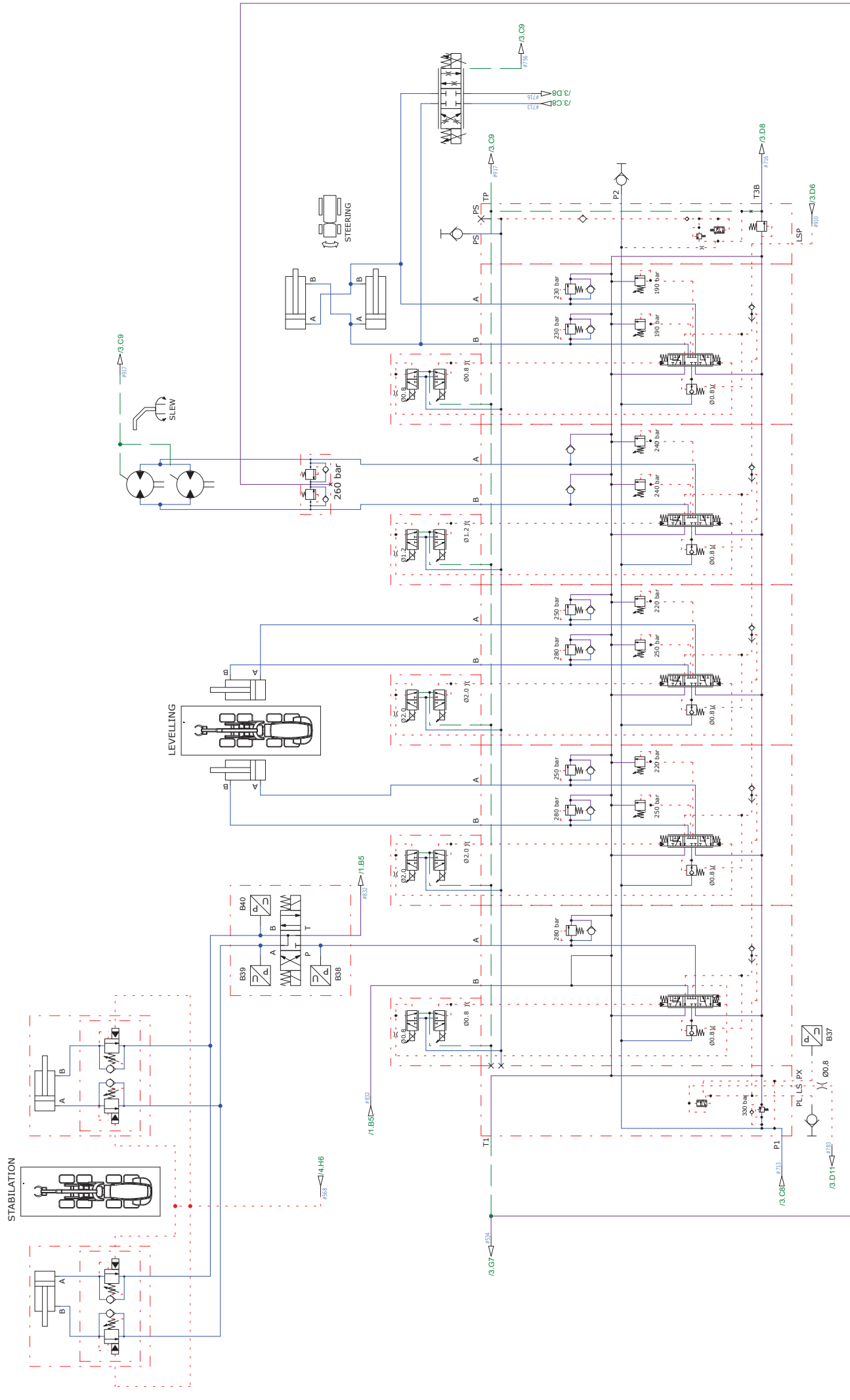
												Crane and harvester head circuit												Scorpion		A040014 ->	
D00080 Drawing number				C Revision														Higher Level Assignment				Machine number					
Evelvi Creator				27.2.2015 Date														Location				3 / 5 Sheet					
														Description 1		10		11		12							

Copyright © Ponsse Oyj



D00080		C		Revision		A040014 ->	
Drawing number		Evelvi		27.2.2015		Machine number	
C-creator		Date		Higher Level Assignment		Location	
				Description 1		4 / 5	
						Sheet	

D00080		C		Revision		A040014 ->	
Drawing number		Evelvi		27.2.2015		Machine number	
C-creator		Date		Higher Level Assignment		Location	
				Description 1		4 / 5	
						Sheet	



Frame control circuit

D00080		C	Revision		Scorpion		A000014 ->
Drawing number							
EvelVi		27.2.2015	Date		Model		Machine number
Creator					Higher Level Assignment		5 / 5
					Location		12
					Description 1		Sheet

LIITE B: H7-HARVESTERIPÄÄ HYDRAULIKAAVIO

